

23 DEC 2004

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 02 433.6

**Anmeldetag:** 17. Januar 2003

**Anmelder/Inhaber:** VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg/DE;  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der ange-  
wandten Forschung e.V., München/DE.

**Bezeichnung:** Verfahren und Simulationssystem zur Simulation von  
Auftragsabwicklungsprozessen sowie entsprechen-  
des Computerprogramm-Erzeugnis und entsprechen-  
des computerlesbares Speichermedium

**Priorität:** 25.6.2002 DE 102 28 358.3

**IPC:** G 06 F 17/60

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-  
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 1. Juli 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Berofsky

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

5

**Verfahren und Simulationssystem zur Simulation von  
Auftragsabwicklungsprozessen sowie entsprechendes Computerprogramm-  
Erzeugnis und entsprechendes computerlesbares Speichermedium**

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Simulationssystem zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere eines Kraftfahrzeuges, sowie ein entsprechendes Computerprogramm-Erzeugnis und ein entsprechendes computerlesbares Speichermedium mit den in den Oberbegriffen der Ansprüche 1, 16 und 18 bis 21 genannten Merkmalen.

15

Seit einigen Jahren bemüht man sich in verschiedenen Industriezweigen, besonders in der Automobilindustrie, Prozesse in der Fertigung zu verbessern. Ein Weg zu einer solchen Verbesserung ist die Nutzung von Simulationsmodellen zur Planung beziehungsweise Überprüfung von Systemen und insbesondere Materialflüssen. Zu diesem Zweck wurde  
20 eine große Palette von Werkzeugen geschaffen, die mittlerweile als Standardsoftware verfügbar sind.

25

Eine Aufweitung des Fokus der Betrachtung erfolgt inzwischen auf Potenziale, die sich im Zusammenspiel mehrerer Teilprozesse erschließen, unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Regeln, die zur Steuerung der Abläufe dienen. Diese Herangehensweise führt jedoch zu einer Komplexität, die mit herkömmlichen Instrumenten und Methoden nicht aufgelöst werden kann.

30

Herkömmliche Methoden und Werkzeuge zur Materialflusssimulation u. a. genügen nicht mehr, um die notwendige Transparenz in solchen vernetzten Prozessen zu erzielen. Hier sind deshalb neue Werkzeuge erforderlich.

35

Die Untersuchung von Geschäftsprozessen in der Automobilindustrie ist in vielerlei Hinsicht besonders anspruchsvoll. Eine wesentliche Ursache hierfür ist, dass für viele Teilprozesse die Betrachtung des Produktes "Fahrzeug" ohne Abbildung der Eigenschaften (Ausstattungen) nicht zielführend ist, da diese Eigenschaften starke Auswirkungen auf den Prozessablauf haben.

Bei einer Untersuchung der Geschäftsprozesse sind diese Eigenschaften zudem so zu berücksichtigen, dass zum einen das Verhalten der Käufer auf bestimmten Märkten nachgebildet wird und weiterhin eine Reihe von Regeln bei der Zusammensetzung der  
5 Fahrzeuge beachtet werden.

Die Notwendigkeit einer solch detaillierten Produktabbildung entsteht unter anderem dadurch, dass Planungsalgorithmen auf der Basis von Teilen beziehungsweise  
Ausstattungen arbeiten und damit auch nur eine "realistische" Produktrepräsentation  
10 Rückschlüsse auf die Effizienz der Verfahren zulässt.

Die Gestaltung beziehungsweise Bewertung von komplexen Geschäftsprozessen ist mit bisherigen Methoden nur schwierig durchführbar. Die Möglichkeiten zur Simulation dieser  
Prozesse sind begrenzt, da herkömmliche Simulationen häufig nur auf sehr abstrakten  
15 Produkt- und Prozessrepräsentationen durchgeführt werden.

Zumindest für die Automobilindustrie lässt sich - wie bereits angedeutet - zeigen, dass die Abstraktion von Prozess- beziehungsweise Produktdetails schnell zu einer schlechten  
Qualität der Aussagen führt.

20

Zum Beispiel führt eine Verbesserung von Unternehmensprozessen über die Grenzen von bislang schwach gekoppelten Einzelbereichen hinweg häufig dazu, diese schwache  
Kopplung in integrierenden Planungsverfahren zu verstärken. So lassen sich dadurch zum  
Beispiel Bestände in Puffern zwischen Bereichen minimieren. Neben der erwünschten  
25 Verringerung von Beständen, kann aber auch beobachtet werden, dass die Verkleinerung  
von Puffern zu einem gegenüber Störungen kritischeren Prozess führen kann. Solche  
Auswirkungen können bislang nicht im Voraus simulativ untersucht und gültig abgeschätzt  
werden.

30 Das Design von übergreifenden Prozessen, wie zum Beispiel dem  
Auftragsabwicklungsprozess, ist ohne unterstützende Werkzeuge mit hohen Risiken  
behaftet. Mangelnde Transparenz führt zudem fast zwangsläufig zu ineffizienten  
Prozessen. Zur Minimierung dieser Risiken ist deshalb ein System erforderlich, das es  
einem Prozessplaner bereits beim ersten Entwurf - bis hin zur Umsetzung - ermöglicht, die  
35 Auswirkung der geplanten Prozesse qualitativ und/oder quantitativ zu untersuchen und,  
davon ausgehend, gegebenenfalls alternative Prozessabläufe zu entwerfen.

Insbesondere erlauben die bekannten Werkzeuge nicht - um beim Beispiel der Automobilindustrie zu bleiben - die komplizierten Abhängigkeiten der Fahrzeugausstattungen untereinander abzubilden. Damit gibt es keine Werkzeuge, mit denen es möglich wäre, Fahrzeuge in einem Modell zu generieren, in welchem diese Abhängigkeiten korrekt berücksichtigt werden (baubare Fahrzeuge).

Es ist bisher ebenso wenig möglich, eine Umsetzung vom Planungsverfahren zur Werksverbuchung, Kapazitätssteuerung, Störungsmanagement und so weiter und/oder alternative Planungsverfahren qualitativ und quantitativ zu bewerten.

Auswirkung der geplanten Prozesse qualitativ und/oder quantitativ zu untersuchen und, davon ausgehend, gegebenenfalls alternative Prozessabläufe zu entwerfen.

Insbesondere erlauben die bekannten Werkzeuge nicht - um beim Beispiel der Automobilindustrie zu bleiben - die komplizierten Abhängigkeiten der Fahrzeugausstattungen untereinander abzubilden. Damit gibt es keine Werkzeuge, mit denen es möglich wäre, Fahrzeuge in einem Modell zu generieren, in welchem diese Abhängigkeiten korrekt berücksichtigt werden (baubare Fahrzeuge).

Es ist bisher ebenso wenig möglich, eine Umsetzung vom Planungsverfahren zur Werksverbuchung, Kapazitätssteuerung, Störungsmanagement und so weiter und/oder alternative Planungsverfahren qualitativ und quantitativ zu bewerten.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und ein Simulationssystem zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere eines Kraftfahrzeuges, sowie ein entsprechendes Computerprogramm-Erzeugnis und ein entsprechendes computerlesbares Speichermedium bereitzustellen, durch welche die vorstehend genannten Nachteile behoben werden und insbesondere eine ganzheitliche Modellierung und Simulation aller Planungsprozesse in der Logistikkette ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1, 16 und 18 bis 21 in Zusammenwirkung mit den Merkmalen im Oberbegriff. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.



Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, besteht in der Möglichkeit einer ganzheitlichen Modellierung und Simulation aller Planungsprozesse in der Logistikkette, indem folgende Schritte ausgeführt werden:

- 5 a) Eingabe von Bedarfszahlen für mindestens eine Klasse des Produktes für mindestens einen vorgebbaren Zeitraum in eine Datenverarbeitungseinrichtung,
- 10 b) automatischer Abgleich dieser Bedarfszahlen mit vorgebbaren, Fertigungs- und/oder (Fertigungs-)Zulieferkapazitäten beschreibenden Datensätzen durch ein auf der Datenverarbeitungseinrichtung installiertes Computerprogramm,
- 15 c) automatische Zuordnung der Bedarfszahlen oder von Anteilen der Bedarfszahlen zu Fertigungsarten (Werken),
- d) Ausführung einer Simulation der Fertigung und/oder Zulieferung für die Fertigung auf Basis der in Schritt c) erfolgten Zuordnung,
- 20 e) automatische Ermittlung der Distributionswege und Ausführung einer Simulation der Distribution(en) fertiggestellter Produkte von den Werken zu den Auslieferungsorten,
- 25 f) Speicherung und/oder Ausgabe wenigstens eines Teils der durch die Schritte a) bis e) erzeugten Daten.

Ein Simulationssystem zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, umfasst vorteilhafterweise die Module „Prognose“, „Festaufträge“, „Setzungen“, „Produktion“ und „Distribution“, wobei  
30 die Module, gesteuert durch ein auf einem Computer-System implementiertes Computerprogramm, derart zusammenwirken, dass folgende Schritte ausführbar sind:

- a) Eingabe von Bedarfszahlen für mindestens eine Klasse des Produktes für  
35 mindestens einen vorgebbaren Zeitraum in eine Datenverarbeitungseinrichtung,

- b) automatischer Abgleich dieser Bedarfszahlen mit vorgebbaren, Fertigungs- und/oder (Fertigungs-)Zulieferkapazitäten beschreibenden Datensätzen durch ein auf der Datenverarbeitungseinrichtung installiertes Computerprogramm,
- 5 c) automatische Zuordnung der Bedarfszahlen oder von Anteilen der Bedarfszahlen zu Fertigungsorten (Werken),
- d) Ausführung einer Simulation der Fertigung und/oder Zulieferung für die Fertigung auf Basis der in Schritt c) erfolgten Zuordnung,
- 10 e) automatische Ermittlung der Distributionswege und Ausführung einer Simulation der Distribution(en) fertiggestellter Produkte von den Werken zu den Auslieferungsorten,
- 15 f) Speicherung und/oder Ausgabe wenigstens eines Teils der durch die Schritte a) bis e) erzeugten Daten.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Simulationssystems ist außerdem vorgesehen, dass das Simulationssystem Schnittstellen zu Datenbanken realer Systeme, wie

20 Datenbanken von Händlern und/oder Fertigungsstätten, aufweist.

Ein Computerprogrammprodukt zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, umfasst ein computerlesbares Speichermedium, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem

25 Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen durchzuführen, wobei die Simulation die Verfahrensschritte gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 umfasst.

Um eine Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen

30 Produktes, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, durchzuführen, wird vorteilhafterweise ein computerlesbares Speichermedium eingesetzt, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen durchzuführen, wobei die Simulation die Verfahrensschritte gemäß einem der Ansprüche 1

35 bis 15 umfasst.

Besonders vorteilhaft erweist sich die Verwendung eines Verfahrens zur Simulation von

Auftragsabwicklungsprozessen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 oder eines Simulationssystems gemäß einem der Ansprüche 16 oder 17 zur Ermittlung von Planungsdaten wie Optimierungspotentiale, Entscheidungsalternativen, Kennzahlen für Lieferzeit oder Liefertreue, Transportmittelauslastung, Kosten oder dergleichen.

5

Darüber hinaus stellt es einen Vorteil für strategische, taktische und/oder operative Entscheidungen dar, Planungsdaten wie Optimierungspotentiale, Entscheidungsalternativen, Kennzahlen für Lieferzeit oder Liefertreue, Transportmittelauslastung, Kosten oder dergleichen, die durch ein Verfahren zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 oder durch ein Simulationssystem gemäß einem der Ansprüche 16 oder 17 verfügbar gemacht wurden, nutzen zu können.

10

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die bei dem automatischen Abgleich der Bedarfszahlen in Schritt b) nach Anspruch 1 genutzten Datensätze Restriktionen der Fertigungsorte und/oder Lieferanten umfassen.

15

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist außerdem vorgesehen, dass die Bedarfszahlen in Schritt a) nach Anspruch 1 ermittelt werden, indem eine erste Bedarfsprognose für einen ersten Prognosezeitraum vorgegeben wird, eine zweite Bedarfsprognose für einen zweiten Prognosezeitraum mit stochastischen Verfahren aus der ersten Prognose ermittelt wird und die Bedarfszahlen nach vorgebbaren, die erste und/oder zweite Bedarfsprognose auswertenden Algorithmen bestimmt werden.

20

Des Weiteren erweist es sich als vorteilhaft, wenn der automatische Abgleich in Schritt b) nach Anspruch 1 eine Korrektur der Bedarfszahlen zur Anpassung an die Fertigungs- und/oder (Fertigungs-)Zulieferkapazitäten umfasst.

25

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Verfahrensschritte a) bis c) gemäß Anspruch 1 folgende Schritte umfassen:

30

- Vorgabe vorläufiger Bedarfszahlen (Bedarfsprognose) für einen ersten Prognosezeitraum, vorzugsweise für ein Verkaufsjahr,
- simulative Generierung von Händlerbestellungen für einen zweiten Prognosezeitraum, vorzugsweise für drei Monate,

35

- Auswertung der vorläufigen Bedarfszahlen und Händlerbestellungen und Ermittlung einer aktualisierten Bedarfsprognose für den zweiten Prognosezeitraum,
- 5 - Abgleich der aktualisierten Bedarfsprognose für den zweiten Prognosezeitraum mit den Kapazitäten der Fertigungsstätten und/oder der Zulieferer und Ermittlung von zugelassenen Festauftragskontingenten und/oder Modulkontingenten,
- 10 - Generierung der Bedarfszahlen (Setzungen) für den vorgebbaren Zeitraum, vorzugsweise eine Lieferwoche, durch Auswertung der zugelassenen Festauftragskontingente, Modulkontingente und/oder von simulierten bei den Händlern neu eingegangenen Käuferbestellungen,
- 15 - Abgleich dieser Bedarfszahlen (Setzungen) mit Restriktionen (Kapazität, Auslastung oder dergleichen) der Fertigungsstätte(n) und/oder Lieferanten und Zuordnung der Bedarfszahlen (Setzungen) zu der (den) Fertigungsstätte(n).

20 Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass bei der automatischen Zuordnung der Bedarfszahlen auf die Fertigungsstätten eine Aufteilung der Bedarfszahlen des vorgegebenen Zeitraums auf Tagessetzungen erfolgt oder dass die automatische Zuordnung der Bedarfszahlen auf die Fertigungsstätten die Zusammenstellung von Tagesprogrammen für die Fertigungsstätten oder die Auflösung der in den Tagessetzungen spezifizierten Produkte in ihre Module umfasst.

25 Von Vorteil ist es ebenfalls, wenn die Bedarfszahlen Angaben zu wesentlichen Ausstattungsmerkmalen der Produkte („heavy items“) umfassen.

30 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass das der Simulation zugrunde liegende Modell mehrere Fertigungsorte abbildet, in dem der Simulation zugrunde liegenden Modell die eine Produktionsstätte charakterisierenden Parameter Grenzkapazitäten, Arbeitszeitmodelle, Personalstamm umfassen und/oder in dem der Simulation zugrunde liegenden Modell eine Differenzierung zwischen Händlern, insbesondere zwischen Händlern des Inlandsmarktes und  
35 Importeuren, vorgenommen wird und/oder in dem der Simulation zugrunde liegenden Modell Distributionskanäle in Unterdistributionskanäle untergliedert sind.

Ein anderer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass die durch die Schritte a) bis e) gemäß Anspruch 1 erzeugten Daten quantitative Bewertungen von Prozessentwürfen, Bewertungen von Strategien, wie beispielsweise zum Störungsmanagement, Einfrierzeitpunkte von Aufträgen, Lieferzeiten, Liefertreue, Transportmittelauslastung und/oder Kosten umfassen.

Darüber hinaus ist es ebenfalls vorteilhaft, wenn während des Verfahrens automatisch Daten aus Datenbanken realer Systeme, insbesondere aus Datenbanken von Händlern und/oder Fertigungsstätten, ausgewertet werden.

Der Nutzen, der mit dem planungs- und betriebsbegleitenden Einsatz des erfindungsgemäßen Simulationsmodells verbunden ist, lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Validierung des geplanten Prozesses der Auftragsabwicklung im Vorfeld der Realisierung,
- Verbesserung der Planung des Auftragsabwicklungsprozesses im Vorfeld der Realisierung sowie in der Betriebsphase durch Aufbau und Bewertung verschiedener Szenarien in einem Experimentierfeld,
- Analyse und Bewertung potentieller Schwachstellen, wie etwa die Beantwortung solcher beispielhafter Fragestellung wie: An welchen Stellen entstehen unnötig lange Durchlaufzeiten und welche Randbedingungen sind hierfür verantwortlich?
- Unterstützung der Lastenhefterstellung für die Entwicklung von Planungs- und Steuerungsinstrumenten,
- Testen der Entscheidungsspielräume und Leistungsgrenzen in Extremsituationen (Überlastungen, Störungen etc.) und Ableiten möglicher Kompensationsstrategien als Präventivmaßnahme.

Der Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens oder Simulationssystems bietet darüber hinaus folgende Vorteile:

1. In der Erfindung wird ein Produktmodell einbezogen, das es erlaubt, die komplizierten Abhängigkeiten der Fahrzeugausstattungen untereinander durch Regeln abzubilden.

Damit gelingt die Erzeugung von Fahrzeugen im Modell, die diesen Regeln entsprechen (baubare Fahrzeuge).

2. Die detaillierte Umsetzung von Planungsverfahren zur Werksverbuchung, Kapazitätssteuerung, Störungsmanagement und so weiter wird ermöglicht. Alternative Planungsverfahren können qualitativ und quantitativ bewertet werden.
3. Nahezu beliebige Ausschnitte des OTD-Prozesses (OTD = Order to Delivery) können modelliert, modifiziert und die Auswirkungen auf den Gesamtprozess untersucht werden.
4. Operative Systeme können eingebunden werden, um die Auswirkungen von Entscheidungen auf der Basis von Ist-Daten im Vorfeld untersuchen zu können.

Das erfindungsgemäße Verfahren integriert und erweitert Konzepte aus der Materialflusssimulation, der Geschäftsprozesssimulation und Systemen des Supply Chain Management (SCM). Basis des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die ereignisgesteuerte diskrete Simulation von Geschäftsprozessen mit hohem Detaillierungsgrad in Bezug auf Produktauflösung, Planungsalgorithmen und Abbildungsbereich. Dieses Ergebnis lässt sich insbesondere auch vorteilhaft in der Logistik nutzen.

Es werden durch die Erfindung für die Produktrepräsentation und den Auftragsabwicklungsprozess wesentliche Planungsabläufe nachgebildet, die die gesamte Logistikkette betreffen. Die hohe Qualität der Aussagen, die durch die Erfindung zu erzielen sind, ist als besonderer Vorteil hervorzuheben; diese Qualität ermöglicht es, die Einführung neuer Prozesse auf strategischer, taktischer und operativer Ebene zu unterstützen. Dadurch wird eine neue ganzheitliche Modellierung und Simulation aller Planungsprozesse in der Logistikkette erreicht und der Aufbau komplexer Modelle ermöglicht.

Erst die hohe Qualität der Aussagen gestattet es, die Erfindung durchgängig vom Prozessentwurf bis hin zum operativen Einsatz nutzbar zu machen:

- auf strategischer Ebene: Prozessentwürfe können quantitativ bewertet werden.
- auf taktischer Ebene: Bewertung von Strategien zum Beispiel zum Störungsmanagement werden ermöglicht.

- auf operativer Ebene: Planer können Fertigungsprogramme im Bezug auf Auswirkungen auf Lieferzeit, Liefertreue, Transportmittelauslastung beziehungsweise letztlich Kosten bewerten.

5

Neben der Absicherung der Prozessgestaltung ergeben sich eine Reihe weiterer Vorteile:

- Systemlasten können basierend auf komplexen Regelwerken effizient erzeugt werden.
- 10 - Puffer zwischen Prozessstufen können aufgrund abgesicherter Erkenntnisse dimensioniert werden.
- Der Auftragsabwicklungsprozess kann sowohl als Ganzes, wie auch in seinen Teilaspekten untersucht werden.
- 15 - Planungsalgorithmen (Bedarfs- und Kapazitätsmanagement, Störmanagement, Beschaffung und so weiter) können untersucht und bewertet werden.
- Die Formulierung von Planungsverfahren ist eindeutig. Das Simulationsmodell kann  
20 als Referenz dienen.
- Die Prozessgestaltung wird lückenlos vom ersten Entwurf, über die Implementierung von IT-Systemen bis hin zum operativen Betrieb unterstützt.
- 25 Die durch die Erfindung ermöglichte ganzheitliche Bewertung von Prozessen gestattet es, neue Optimierungspotentiale anzugehen und mit sehr geringen Risiken für das Unternehmen umzusetzen.

30 Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

35 Figur 1 ein Ablaufschema einer Simulationsstudie;

Figur 2 eine Verifizierung und Validierung von Simulationsmodellen;

- Figur 3 eine Gegenüberstellung einer sequentiellen und einer simultanen Prozessarchitektur;
- 5 Figur 4 eine Veranschaulichung möglicher Prozessstufen bei der Umsetzung der Tagesorientierung;
- Figur 5 ein Beispiel für eine mögliche Struktur eines Modells zur Simulation des Auftragsabwicklungsprozesses;
- 10 Figur 6 eine beispielhafte Darstellung von Ebenen der Fahrzeugbeschreibung;
- Figur 7 eine Darstellung von Ein- und Ausgabedaten einer Simulationsstudie für das Modell „Fahrzeugauslieferung an einem Auslieferungspunkt des Herstellers beziehungsweise der Hersteller“;
- 15 Figur 8 eine Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeiten für die Fahrzeugtypen X und Y;
- 20 Figur 9 ein Diagramm für die reale Fertigungsdurchlaufzeit für den Fahrzeugtyp Y;
- Figur 10 ein Diagramm für die reale Fertigungsdurchlaufzeit für den Fahrzeugtyp X;
- 25 Figur 11 eine Darstellung der Verringerung der Stochastik in der Fertigungsdurchlaufzeit des Fahrzeugtyps Y;
- Figur 12 eine Darstellung der Verringerung der Stochastik in der Fertigungsdurchlaufzeit des Fahrzeugtyps X;
- 30 Figur 13 eine vergleichende Darstellung der Kundenankunftszeit für ein Szenario, in dem der Kunde erst bei Fertigstellung des Fahrzeugs über den Auslieferungstermin informiert wird (oben), und ein Szenario, in dem der Kunde bereits in der Fahrzeugeinplanung über den Auslieferungstermin informiert wird (unten);
- 35 Figur 14 eine Tabelle des Stellflächenbedarfs bei der Fahrzeugauslieferung an einem Auslieferungspunkt des Herstellers beziehungsweise der Hersteller;



- Figur 15 eine Tabelle der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse;
- 5 Figur 16 eine Tabelle des Stellflächenbedarfs für das Szenario S2 und die Verteilung Vc der Fertigungsdurchlaufzeit;
- Figur 17 eine Tabelle des Einsparpotentials an Stellplätzen beim Übergang von Szenario S1 zu Szenario S2;
- 10 Figur 18 eine Tabelle mit Angaben zur Verringerung der Kapitalbindungskosten pro Jahr für den Fall des Übergangs von Szenario S1 mit Verteilung Va der Fertigungsdurchlaufzeit zu Szenario S2 mit Verteilung Vc der Fertigungsdurchlaufzeit;
- 15 Figur 19 eine Tabelle mit Angaben zur Verringerung der Kapitalbindungskosten pro Fahrzeug für den Fall des Übergangs von Szenario S1 mit Verteilung Va der Fertigungsdurchlaufzeit zu Szenario S2 mit Verteilung Vc der Fertigungsdurchlaufzeit;
- 20 Figur 20 eine schematische Darstellung einer Jahresprognose;
- Figur 21 eine schematische Darstellung der Prognoseaktualisierung;
- Figur 22 eine schematische Darstellung des Kapazitätsabgleichs;
- 25 Figur 23 eine schematische Darstellung der Erzeugung von „zugelassenen Festaufträgen“;
- Figur 24 eine schematische Darstellung der „wöchentlichen Setzungen“;
- 30 Figur 25 eine schematische Darstellung der „täglichen Setzungen“;
- Figur 26a eine Zusammensetzung der Märkte USA und Kanada in einem Ausführungsbeispiel;
- 35 Figur 26b eine Darstellung der Märkte und Händler in einem Ausführungsbeispiel;

- Figur 27a PR-Nummer-Familien für Motoren, Getriebe und Klimaanlage;
- Figur 27b PR-Nummer-Familien für Radios, Farben und Verdeck;
- 5 Figur 28 eine Darstellung eines Produktbaums;
- Figur 29 ein Diagramm zur Veranschaulichung der Absatzprognose für das Fahrzeug X in einem Ausführungsbeispiel;
- 10 Figur 30 dem in Figur 29 wiedergegebenen Diagramm zugrunde liegende Absatzdaten;
- Figur 31a einen Verlauf der anteiligen, in einem Ausführungsbeispiel verwendeten Fahrzeugabsätze für Nordamerika und Europa;
- 15 Figur 31b dem in Figur 31a wiedergegebenen Diagramm zugrunde liegende Absatzdaten;
- Figur 32a einen Verlauf der anteiligen, in einem Ausführungsbeispiel verwendeten Fahrzeugabsätze für die USA, Kanada und die „übrigen Gebiete“;
- 20 Figur 32b dem in Figur 31a wiedergegebenen Diagramm zugrunde liegende Absatzdaten;
- 25 Figur 33 eine Tabelle von arbeitsfreien Tagen in Werk A in einem Ausführungsbeispiel;
- Figur 34 eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Verwirbelung bei der Tagesprogrammgebung in einem Ausführungsbeispiel;
- 30 Figuren 35 bis 42 Ergebnisse der Simulation unter Verwendung eines beispielhaften Grundmodells:
- 35 Figur 35 durchschnittliche, minimale und maximale Lieferzeit;
- Figur 36 durchschnittliche Liefer- und Auftragsdurchlaufzeit;
- Figur 37 Lieferzeit für Fahrzeuge mit einem bestimmten Motor;
- Figur 38 Einplanungstreue;

- Figur 39 Wochenprogrammtreue;  
Figur 40 ZP8-Treue;  
Figur 41 Liefertreue;  
Figur 42 Bestände;
- 5 Figuren 43 bis 49 Ergebnisse der Simulation unter Verwendung eines beispielhaften Grundmodells und der zusätzlichen Annahme, dass ein Streik auftritt, ohne dass Gegenmaßnahmen getroffen werden:
- 10 Figur 43 durchschnittliche Liefer- und Auftragsdurchlaufzeit;  
Figur 44 Lieferzeit für Fahrzeuge mit einem bestimmten Motor;  
Figur 45 Einplanungstreue;  
Figur 46 Wochenprogrammtreue;  
Figur 47 ZP8-Treue;
- 15 Figur 48 Liefertreue;  
Figur 49 Bestände;
- Figuren 50 bis 56 Ergebnisse der Simulation unter Verwendung eines beispielhaften Grundmodells und der zusätzlichen Annahme, dass ein Streik auftritt und als Gegenmaßnahme die Soll-Ausbringung der Fahrzeuge reduziert wird:
- 20 Figur 50 durchschnittliche Liefer- und Auftragsdurchlaufzeit;  
Figur 51 Lieferzeit für Fahrzeuge mit einem bestimmten Motor;  
Figur 52 Einplanungstreue;  
Figur 53 Wochenprogrammtreue;  
Figur 54 ZP8-Treue;  
Figur 55 Liefertreue;  
Figur 56 Bestände.
- 25
- 30 Im Folgenden soll die Erfindung beispielhaft an verschiedenen Detaillierungsgraden der Auftragsabwicklung in der Automobilindustrie ausführlich beschrieben werden.
- Die Anforderungen der Kunden an die Fahrzeuge und an das Servicepaket, das der Automobilhersteller an seine Produkte knüpft, sind ausgesprochen vielfältig. Neben einer
- 35 optimalen Produktqualität, maximaler Wirtschaftlichkeit und hoher Betriebssicherheit, spielt die Serviceleistung, die nicht erst beim After-sales-Service beginnt, sondern bereits beim Fahrzeugkauf, eine entscheidende Rolle für das Kaufverhalten der Kunden.

Um insbesondere die Serviceleistungen vor der Auslieferung neuer Fahrzeuge für den Kunden zu optimieren, ist es ein Ziel der Automobilindustrie, einerseits die Lieferzeiten als Spanne zwischen Kundenbestellung und Fahrzeugübergabe möglichst stark zu reduzieren, und andererseits die Liefertreue zu maximieren.

Es hat sich gezeigt, dass zur Erreichung dieses Ziels in der Regel eine Neugestaltung des Geschäftsprozesses der Auftragsabwicklung, von der Erstellung jährlicher Absatzprognosen und entsprechender Programmplanungen über das Auslösen von Kundenbestellungen bis zur Fahrzeugübergabe an den Kunden, erforderlich ist.

Die Aufgabe, die mit der Gestaltung des Prozesses der Auftragsabwicklung verbunden ist, ergibt sich aus der Komplexität des betrachteten Systems, in dem der Prozess abläuft, sowie den vielfältigen Möglichkeiten, das Systemverhalten bewusst beispielsweise durch Veränderung der Steuerungsprinzipien oder unbewusst durch Störungen zu beeinflussen.

Um im Vorfeld der Realisierung aber auch in späteren Betriebsphasen das dynamische Verhalten des Systems sowie die Qualität des Geschäftsprozesses der Auftragsabwicklung beurteilen und optimieren zu können, muss ein Instrument als Experimentierungsumgebung vorhanden sein, mit dessen Hilfe quantifizierte Aussagen über das Systemverhalten bei variierenden Systemlasten und alternativen Steuerungsprinzipien möglich werden.

Für die Bewertung der Qualität des Auftragsabwicklungsprozesses sind insbesondere die folgenden Erfolgsparameter von Bedeutung:

- Reduzierung der Lieferzeiten,
- Gewährleistung der Liefertreue,
- Optimierung der Kapazitätsauslastung,
- Minimierung der Fahrzeugbestände im Distributionssystem.

Innerhalb des Prozesses der Auftragsabwicklung müssen Flexibilitätsspannen integriert sein, die schnelle Anpassungen an variierende Randbedingungen ermöglichen. Die Kenntnis dieser Spannen und der mit ihnen verbundene Reaktionsspielraum stellen eine wichtige Voraussetzung dar, um die skizzierten Erfolgsparameter zu einem Gesamtoptimum verbinden zu können. Konkret werden hierfür quantifizierte Aussagen benötigt über:

- die Kapazitätsgrenzen der verschiedenen Systeme und Teilsysteme (Händler-Netz, Vertrieb, Produktion, Distribution),
- die potentiellen Engpasskapazitäten,
- die Wirkung verschiedener Steuerungsprinzipien unter variierenden Randbedingungen,
- die Abhängigkeiten zwischen Materialbeständen, Beständen an Neuwagen, Durchlaufzeiten, Lieferterminen, Liefertreue und Kapazitätsauslastungen,
- die vorhandenen Restriktionen und deren Auswirkungen auf den Auftragsabwicklungsprozess sowie die Kenntnis über Möglichkeiten, Restriktionen kurz- oder langfristig beseitigen zu können.

Um das dynamische Verhalten des Systems „Fahrzeugfertigung“ unter einer neu definierten Ablauforganisation, die durch den Prozess der Auftragsabwicklung beschrieben wird, beurteilen und bewerten zu können, werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine oder mehrere Simulationen des Auftragsabwicklungsprozesses durchgeführt.

Um die anschließend spezifizierten Ziele zu erreichen, wurde ein modulares Simulationsmodell aufgebaut, mit dessen Hilfe das Systemverhalten unter verschiedenen Randbedingungen bewertet werden kann. Gleichzeitig werden mit Hilfe des Modells Optimierungspotentiale aufgezeigt, um den Geschäftsprozess der Auftragsabwicklung fortlaufend im Planungs- und Realisierungsstadium verbessern zu können. Neben dieser Prozessmodellierung können durch Simulationsstudien Schwachstellen (zum Beispiel Engpasskapazitäten) des Systems erkannt und bewertet werden. Der Nutzen beispielsweise einer Kapazitätserweiterung in einem bestimmten Werkstandort kann hinsichtlich der Erfolgsfaktoren quantifiziert werden und mögliche Investitionsentscheidungen lassen sich absichern.

Das beispielhafte Simulationsmodell bildet neben dem Händler-Netz der Bundesrepublik, die zentralen Vertriebs- und Planungsbereiche, ausgewählte Werkstandorte sowie die Distribution des Herstellers in abstrahierter Form ab. Darüber hinaus werden die Kernprozesse der Lieferanten, wichtige Bestellmodule sowie die Schnittstellen zu den Produktionsbereichen der Automobilwerke grob mit abgebildet.

Durch den Einsatz des beispielhaften Simulationsinstrumentes werden unter anderem die folgenden Ziele erreicht:

5 Integration aller im Verbund arbeitenden Hersteller (Konzern) und Produktionsstandorte in den Prozess der Auftragsabwicklung:

- 10 - Hierzu ist es erforderlich, den Prozess der Auftragsabwicklung als offenes Rahmenkonzept zu entwickeln, um den Prozess an die marken-, standort- und käuferspezifischen Anforderungen anpassen zu können. In einem Simulationsmodell müssen die notwendigen Veränderungen umgesetzt und hinsichtlich der Auswirkungen auf das dynamische Verhalten bewertet werden.

15 Das Simulationsmodell stellt demgemäß einerseits eine Modellierungsumgebung für die Anpassung des offenen Referenzmodells dar, und andererseits stellt es einen Modellspeicher für bereits standort- und markenbezogen konfigurierte Modellkomponenten dar.

Bewertung von Mengenabweichungen in der lang- bis kurzfristigen Planung:

- 20 - Die Durchlaufzeit, der Bestand sowie die Termintreue hängen maßgeblich von einem abgeglichenen Verhältnis aus Kapazitätsangebot und Kapazitätsbedarf ab. Dieser Abgleich muss bereits bei der jährlichen Produktionsprogrammplanung auf Basis von Absatzprognosen durchgeführt werden, um das Unternehmen auf die saisonalen Schwankungen auszurichten (so genanntes Atmendes Unternehmen). Die langfristige Kapazitätsplanung muss dabei insbesondere mit der Personalplanung abgestimmt werden, um Jahresarbeitszeitmodelle berücksichtigen zu können.

30 Mit Hilfe der beispielhaften Simulation können verschiedene Jahresarbeitszeitmodelle aber auch unterschiedliche Schichtmodelle bezüglich ihrer Auswirkungen auf das Atmende Unternehmen bewertet werden. Es können die Flexibilitätsspannen beurteilt werden, die mit den alternativen Methoden der Personaleinsatzplanung verbunden sind.

35 Neben den Möglichkeiten der langfristigen Kapazitätsanpassungen können mit dem beispielhaften Simulationsmodell ebenfalls verschiedene Methoden des mittel- und kurzfristigen Kapazitätsabgleiches getestet werden, um Aussagen zu erhalten, wie die Systemkomponenten (Produktion, Distribution etc.) auf

Kapazitätsbedarfsschwankungen reagieren und welche kurzfristigen Steuerungseingriffe mit welchem Ergebnis möglich sind (Auswirkungen auf Durchlaufzeiten, Liefertreue etc.).

- 5 Die kurzfristigen Kapazitätsbedarfsschwankungen werden durch volumenbezogene (Fahrzeuganzahl) und eigenschaftsbezogene Bestellabweichungen (Ausstattungsvarianten) ausgelöst.

10 Um die lang- bis kurzfristige Mengen- und Kapazitätsplanung optimal aufeinander abzustimmen, sind in dem Konzept des beispielhaften Simulationsinstrumentes Planungsfunktionen integriert worden, die eine Interaktion zwischen den Händlern und dem Hersteller erfordern. Diese Planungsfunktionen umfassen die Erstellung einer Jahresabsatzprognose, die Abstimmung eines auf die verfügbaren Kapazitäten abgeglichenen Absatzzieles, das Auslösen von Festaufträgen durch die Händler sowie  
15 die Durchführung von Setzungen (Wandlung der Festaufträge in Einzelaufträge, die Fahrzeuge vollständig spezifizieren) und die permanente Anpassung der Setzungen an die Kundenaufträge oder Händlerspezifikationen für Fahrzeuge ohne konkreten Kundenauftrag bis kurz vor Montagebeginn.

- 20 Der Nutzen für die der Händler besteht insbesondere in der Möglichkeit, vorhandene Setzungen an Kundenbestellungen bis drei Tage vor M0 anzupassen und somit Kundenwünsche kurzfristig zu befriedigen.

25 Der Hersteller gewinnt durch das Konzept eine größere Planungssicherheit (garantierte Produktionsmenge durch Festaufträge drei Monate vor M0), kürzere Lieferzeiten und eine höhere Liefertreue, womit die Konkurrenzfähigkeit der verschiedenen Marken gesteigert wird.

Analyse und Systematisierung der Restriktionen des Prozesses der Auftragsabwicklung:

30

- Bei der Optimierung des Geschäftsprozesses können unterschiedliche Restriktionen vorgesehen werden. Hierzu zählen Unternehmensstrategien (Dieselquoten etc.), Tarifvereinbarungen, Lieferantenkapazitäten, Werksrestriktionen etc. Die Auswirkungen dieser Restriktionen auf die Erfolgsfaktoren des Prozesses der Auftragsabwicklung können mit dem Simulationsinstrument bewertet werden, um eine  
35 Entscheidungshilfe zu erhalten, welche Vorteile mit der Beseitigung einzelner Restriktionen verbunden sind.

### Analyse von Leistungsgrenzen und Bewertung von Maßnahmen zur Verschiebung der Grenzen:

- 5 - Die Leistungsgrenzen einzelner Systeme werden durch die technischen und personellen Kapazitäten bestimmt. Experimente in dem beispielhaften Simulationsmodell mit unterschiedlichen Systemlasten können potentielle Engpasskapazitäten unter verschiedenen Randbedingungen (beispielsweise gravierende Abweichung des Bestellverhaltens von den Prognosewerten) transparent  
10 machen.

Insbesondere die Möglichkeiten und der Nutzen einer flexiblen Verteilung des Produktionsprogramms auf unterschiedliche Werkstandorte für einzelne Modelle und Typen werden hinsichtlich der Kapazitätsauslastung, der Lieferzeiten sowie anderer  
15 Erfolgsfaktoren durch Simulationsstudien bewertbar gemacht.

### Bewertung und Optimierung der Lieferantenschnittstelle im Prozess der Auftragsabwicklung:

- 20 - Die Integration der Lieferanten in den Prozess der Auftragsabwicklung spielt eine entscheidende Rolle, um Fehlmengen zu vermeiden, die zwangsläufig Lieferzeiten verlängern und die Termintreue gefährden. Mit Hilfe des Simulationsmodells kann überprüft werden, welche Informationen den Lieferanten zu welchen Zeitpunkten bereitgestellt werden müssen, damit die Lieferung wichtiger Bestellmodule (heavy  
25 items) bedarfsorientiert realisiert werden kann.

Es ist mit dem Simulationswerkzeug möglich, den Nutzen der Informationen zu bewerten, die die Lieferanten aus der Absatzprognose, den Inhalten der Festaufträge sowie den Veränderungen der Setzungen ableiten können, um ihre Produktions- und  
30 Distributionsprozesse zu optimieren.

### Bewertung alternativer Distributionsstrategien:

- 35 - Mit Hilfe der Simulation kann des Weiteren geprüft werden, inwieweit die Zielsetzung der Distribution bei der Reihenfolgeplanung in der Produktion berücksichtigt werden kann und welche Vorteile beziehungsweise Nachteile damit verbunden sind.



In einer Simulation wird eine Nachbildung des dynamischen Prozesses der Auftragsabwicklung in einem Modell vorgenommen, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Allgemein stellt Simulation ein Hilfsmittel zum Umgang mit der Realität dar.

5

Simulation ist somit ein Hilfsinstrument, um ein Abbild des dynamischen Verhaltens von Systemen der Realität in einem Modell zu generieren. Als System wird dabei die Gesamtheit von Elementen mit Beziehungen zwischen diesen Elementen und ihren Eigenschaften begriffen. Das System beschreibende Eigenschaften sind dessen Zustandsgrößen. Änderungen der Zustandsgrößen reflektieren Änderungen der Systemumgebung. Zu untersuchende Systeme können sowohl Einrichtungen, wie zum Beispiel Fabriken, als auch Prozesse sein. Konkret geht es um die Untersuchung des Systemverhaltens bei sich ändernden Umweltzuständen. Die Einsatzgebiete der Simulation liegen insbesondere dort, wo kaum überschaubare, komplexe Entwicklungen der realen Welt modelliert werden sollen. Ziel ist es, diese Komplexität zu verstehen und infolgedessen zu beherrschen. Unklarheiten bezüglich des Verhaltens dynamischer Systeme unter veränderlichen Umweltzuständen können mittels Simulation schneller und einfacher beseitigt werden.

Die Komplexität realer dynamischer Systeme erschwert die Erfassung der Wirkzusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren. Die Modellbildung im Rahmen einer Simulationsstudie ermöglicht eine Reduktion der Komplexität mittels komparativ-statischer Analyse, das heißt, dass bei einem Vergleich von alternativen Prozesskonfigurationen immer nur ein Parameter variiert wird. Hierbei wird sukzessive die Quantität der Beeinflussung auf den Untersuchungsgegenstand durch die betrachteten Einflussparameter gemessen. Vorteilhaft erweist sich die Funktionalität von Simulationsinstrumenten, den Grad der Beeinflussung isoliert zu betrachten und zu bewerten. Weiterführend kann eine Verbesserung durch die Variation von Einflüssen, die parallel auf das System einwirken, resultieren.

30

Bei einer Modellierung und Simulation, beispielsweise des Auftragsabwicklungsprozesses eines Automobilherstellers, lassen sich maßgebliche Kennzahlen zur Bewertung des Prozesses, wie zum Beispiel Lieferzeit und Liefertreue, untersuchen. Dadurch können gegebenenfalls Optimierungspotentiale aufgezeigt und Entscheidungsalternativen diskutiert werden.

35

Simulation als Hilfsmittel zur Abbildung dynamischer Systeme wird in unterschiedlichen Bereichen der Arbeitswelt genutzt. Sowohl ökonomische, soziologische als auch ökologische Fragestellungen können mit Hilfe von Simulation untersucht werden.

5 Folgende Bereiche bilden den Schwerpunkt beim Einsatz von Simulatoren:

- in der Wissenschaft, um Systemverhalten zu untersuchen,
- im technischen Bereich bei der Systementwicklung,
- im Systemmanagement,
- 10 - in der Entwicklungsplanung.

Die Gründe, aus denen im Allgemeinen eine Simulation eingesetzt wird, liegen in dem speziellen Fall der Auftragsabwicklung bei der Automobilherstellung vor. Simulation kommt insbesondere zur Anwendung, wenn

15

- Neuland beschritten wird,
- die Grenzen analytischer Methoden erreicht sind,
- komplexe Wirkzusammenhänge die menschliche Vorstellungskraft überfordern,
- das Experimentieren am realen System nicht möglich beziehungsweise zu
- 20 kostenintensiv ist,
- das zeitliche Ablaufverhalten einer Anlage untersucht werden soll.

20

Durch den Einsatz eines Simulationswerkzeuges bei der Untersuchung des Auftragsabwicklungsprozesses - wie überhaupt in Produktion und Logistik - sollen unter anderem folgende spezielle Ziele erreicht werden:

25

- Verbesserung der Planungsqualität und Planungssicherheit,
- Generierung eines Verständnisses für das System und Beherrschung der Systemkomplexität.

30

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht kommt der Simulationstechnik als Hilfsinstrument bei der Entscheidungsfindung solch komplexer Prozesse eine große Bedeutung zu. Entscheidungsalternativen können im Vorfeld simuliert werden. Simulationsergebnisse geben Aufschluss über die Folgen der jeweiligen Entscheidung bezogen auf das gesamte

35 System. Mögliche Fehlentscheidungen können somit ex ante vermieden werden.

Zusammenfassend kommen Simulationstools in der Regel dort zum Einsatz, wo mit vergleichsweise geringem Aufwand relativ zuverlässige Aussagen über das Verhalten komplexer, dynamischer Systeme getroffen werden können.

- 5 Als besonders vorteilhaft erweist sich der Einsatz von Simulationswerkzeugen deswegen in folgenden Bereichen:

#### Systemverständnis

- 10
- Parametersensitivitäten,
  - Begründbarkeit und Überprüfbarkeit der gewählten Lösung,
  - Vermeidung und Eliminierung von Engpässen,
  - dynamische Analyse und Darstellung des gesamten Ablaufs.

#### 15 Kostengünstige Lösung

- Optimierung von Abläufen,
- Einsparung oder Vereinfachung von Systemelementen,
- Optimierung von Puffergrößen und Lagerbeständen.

20

#### Sicherheitsgewinn

- 25
- Bestätigung der Planungsvorhaben,
  - Minimierung des unternehmerischen Risikos,
  - Funktionalität des geplanten Systems,
  - Funktionalität der Steuerung.

- 30 Für das betrachtete Simulationswerkzeug wurden so genannte Referenzmodelle verwendet. Diese Referenzmodelle enthalten zum Beispiel vorgefertigte Bausteine. Beispiele für Bausteine sind Maschinen, Transportmittel oder Lager. Dadurch wird der Aufwand für die Durchführung der eigentlichen Simulationsexperimente erheblich verringert.

- 35 Die bereitgestellten Bausteine können in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung spezifisch kombiniert werden. Der Modellierungsaufwand des Anwenders beschränkt sich dann auf die Parametrisierung der Funktionalitäten der verwendeten Bausteine. Mit Hilfe dieses Prinzips kann die Modellerstellung erheblich beschleunigt werden.

Insbesondere bei sehr komplexen Sachverhalten wird es im Rahmen der Modellbildung erforderlich, von der Wirklichkeit zu abstrahieren. Eine detailgetreue Nachbildung des realen Systems ist in den meisten Fällen nicht möglich. In diesem Kontext ist zu prüfen, welche Aussagekraft das Modell über die Realität aufgrund des gewählten Abstraktionsgrades besitzt. Letzteres beeinflusst entscheidend die Beurteilung der Simulationsergebnisse und damit den Nutzen der Methode Simulation generell.

Die Festlegung des Abstraktionsgrades bei der Modellbildung ist Bestandteil der Simulationsstudie, die im Anschluss kurz beschrieben werden soll.

Die Figur 1 zeigt schematisch den Ablauf bei der Durchführung einer Simulationsstudie.

Im Unterschied zu Darstellungen vereinfachter Abläufe berücksichtigt das in Figur 1 wiedergegebene Schema die Problematik, dass ein Modell nach erfolgter Verifizierung und Validierung gegebenenfalls angepasst werden muss.

Nachfolgend werden die einzelnen Bestandteile einer Simulationsstudie kurz erläutert.

Im Rahmen einer Problemdefinition ist zu klären, welche Fragestellung mittels Simulation untersucht werden soll. Dieser Aspekt ist insbesondere für die Abgrenzung von relevanten und für die Beantwortung der Problemstellung irrelevanten Bereichen des im Modell abzubildenden realen Systems von Bedeutung. In Abhängigkeit von der Fragestellung ist festzulegen, welche Einflussparameter des Systems in dem Modell berücksichtigt werden müssen. Im Anschluss an die Klärung dieses Sachverhaltes kann bestimmt werden, welcher Detaillierungsgrad bei der Modellerstellung erforderlich ist, um qualifizierte Aussagen bezüglich der Problemstellung treffen zu können. Je nach Abstraktion kann der Aufwand für die Modellbildung abgeleitet werden.

Um die im ersten Schritt definierte Problemstellung in einem Modell geeignet abzubilden, sind die relevanten Eingangsgrößen zu systematisieren. Darüber hinaus ist zu diskutieren, welche Parameter das System maßgeblich beeinflussen. Im Anschluss daran sind die relevanten Einflussparameter zu klassifizieren. Im Rahmen der Systemanalyse sind insbesondere die dynamischen Parameter von Interesse. Die Bestimmung der Quantität der Systembeeinflussung eines einzelnen Parameters wird meist durch eine Sensitivitätsanalyse unterstützt.

Abhängigkeiten zwischen den Eingangs- und Ausgangsgrößen sind als Kennzeichen des Systemverhaltens bei der Modellentwicklung zu berücksichtigen. Parallel zu der Modellentwicklung erfolgt die Erhebung der benötigten Inputdaten.

- 5 Nach der Entwicklung des formalen Modells ist die Überführung der Inhalte des Modellkonzeptes in das Computerprogramm vorzunehmen. Während der Modellkonzeption werden die Systembestandteile herausgearbeitet, die in dem Modell abgebildet werden müssen. Diese sind geeignet und in der erforderlichen Detaillierung auf das Modell zu übertragen. Bei der Implementierung kann in manchen einfach strukturierten
- 10 Fragestellungen auf marktgängige Standardsimulationstools zurückgegriffen werden. Viele dieser standardisierten Simulationswerkzeuge beruhen - wie oben bereits erwähnt - auf dem so genannten Bausteinprinzip. Derartige Tools können zwar in manchen Anwendungsfeldern relativ flexibel eingesetzt werden, bei komplexen Problemstellungen, wie beispielsweise bei der Auftragsabwicklung in der Automobilindustrie, erweisen sie sich
- 15 in der Regel als unbrauchbar. Auch für das beispielhafte Simulationswerkzeug war es erforderlich, die entsprechende Software neu zu erstellen.

- Im Anschluss an die Modellimplementierung ist sowohl eine Verifizierung als auch die Validierung des Modells vorzunehmen. Verifizierung ist die Überprüfung der einzelnen
- 20 Schritte des Modellierungsprozesses. Das heißt, es wird geprüft, ob die im Rahmen der Modellkonzeption formal erarbeiteten Modellzusammenhänge auch tatsächlich in dem Computermodell implementiert wurden.

- Im Gegensatz dazu umfasst die Validierung des Modells die Frage, ob die Realität, bezogen auf die Zielsetzung der Simulation, in dem Modell geeignet und richtig abgebildet wird. Einfach ist die Validierung in den Fällen, wo ein real existierendes System zu modellieren ist. Zunächst ist der Zustand des realen Systems in einem Modell abzubilden. Geeignet ist das Modell dann, wenn die Simulationsergebnisse unter der Voraussetzung vergleichbarer Parametereinstellungen mit denen des realen Systems übereinstimmen.
- 30 Das Modell muss das Verhalten des realen Systems genau genug und fehlerfrei abbilden.

- Vereinfachend ausgedrückt bedeutet Verifizierung die Überprüfung, ob die richtigen Dinge in dem Modell abgebildet werden, während im Rahmen der Validierung überprüft wird, ob die Dinge richtig abgebildet werden.

35

Für den Fall, dass im Anschluss an die Verifizierung und/oder die Validierung Zweifel an der Richtigkeit des Modells begründet sind, muss die Simulationsstudie in diesem Stadium

unterbrochen werden. An dieser Stelle erfolgt die Rückkopplung zur Modellentwicklung. Figur 2 verdeutlicht den Zusammenhang von Modellverifizierung und Modellvalidierung.

5 Nachdem die Qualitätsprüfung erfolgreich abgeschlossen wurde, kann mit der Durchführung der Experimente begonnen werden.

Bei der Auswertung der Ergebnisse der Simulationsläufe sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen. Folgende statistische Gesetzmäßigkeiten sind dabei zu beachten:

- 10 - Werden dynamische Prozesse simuliert, benötigt das modellierte System eine bestimmte Zeit des „Einschwingens“, bis die Stabilität des Modells gegeben ist (die Werte aus der Phase der so genannte „warming up“-Periode sind von der Gesamtauswertung auszuschließen).
- 15 - Charakteristisch für Simulationsexperimente mit stochastischen Verteilungsfunktionen ist die Unabhängigkeit der Simulationsläufe.

20 Um die Genauigkeit der Ergebnisse von Simulationsläufen mit stochastischen Verteilungsfunktionen zu erhöhen, werden n-Replikationen von Simulationsexperimenten mit derselben Parametereinstellung durchgeführt und ein Durchschnittswert über n ermittelt.

25 Eine andere Methode ist die Vorgabe eines Konfidenz- oder Vertrauensintervalls. Dieses Intervall begrenzt den Bereich, in dem der wahre zu ermittelnde Wert mit einer bestimmter Wahrscheinlichkeit liegt.

30 Nachdem die Simulationsläufe durchgeführt wurden, müssen die Ergebnisse interpretiert werden. Anhand der Simulationsexperimente kann der Anwender zu Erkenntnissen über das Verhalten des realen Systems gelangen. Die Interpretation sollte jedoch immer vor dem Hintergrund der vorgenommenen Abstraktion erfolgen.

35 In einem Unternehmen durchgeführte Simulationsexperimente dienen in der Regel als Entscheidungshilfen für Managemententscheidungen. Insbesondere die Ergebnisse operativ eingesetzter Simulationswerkzeuge beeinflussen reale Entscheidungen. Die Qualität der Ergebnisse ist in diesem Zusammenhang natürlich eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz des Anwenders.

Nachfolgend soll die Modellierung für das spezielle Beispiel der Simulation eines Auftragsabwicklungsprozesses zur Herstellung von Kraftfahrzeugen detailliert erläutert werden.

- 5 Der Auftragsabwicklungsprozess umfasst alle Teilprozesse von der Kundenbestellung bis zur Auslieferung des Fahrzeugs an den Kunden. Als Teilprozesse der Auftragsabwicklung können insbesondere folgende Schritte spezifiziert werden:

10 Bestellannahme: Händler und Kunde erzielen eine Übereinkunft über Fahrzeugtyp, Ausstattung und Liefertermin. Bestellt der Kunde das Fahrzeug zu den vereinbarten Bedingungen, wird der Auftrag an den Vertrieb des Herstellers weitergeleitet.

15 Programmplanung: Kunden- und Händleraufträge werden unter Berücksichtigung bestehender Restriktionen eingeplant.

20 Fertigung: Nachdem ein Auftrag einem Werk zugeordnet und in ein Wochen- oder Tagesprogramm eingeplant wurde, werden die Fahrzeuge entsprechend dem Produktionsprogramm gefertigt.

Distribution: Nach Fertigstellung und Endabnahme des Fahrzeugs im Werk wird das Fahrzeug verladen und in ein Zwischenlager oder direkt zu dem entsprechenden Händler transportiert. Im Anschluss daran erfolgt die Übergabe des Fahrzeugs an den Händler.

30 Zuvor wird der Marktbedarf prognostiziert. Auf Basis dieser Prognose wird nach der Überprüfung der vorhandenen Kapazitäten die Mengenplanung durchgeführt. Diese Planung erfolgt sowohl für Fahrzeuge als auch für Eigenschaften. Aufgrund der Mengenplanung kann der Teilebedarf ermittelt werden. Des Weiteren legt die Mengenplanung die Bandbreiten für die Einplanung von Aufträgen fest. Ziel einer Optimierung der Auftragsabwicklung ist es, die Lieferzeiten signifikant zu reduzieren. Dies wird durch den Einsatz der Erfindung erreicht.

35 Ein Lösungsansatz für die Optimierung der Auftragsabwicklung ist die Implementierung einer neuen Prozessstruktur. Dabei ist zum Beispiel die Substitution einer sequentiellen Prozessarchitektur durch eine simultane Prozessarchitektur eine Möglichkeit der

Neugestaltung der Prozessstruktur. Hierbei greifen die einzelnen Kettenglieder - Prognose, Programmplanung, Fertigung, und Distribution - systematisch ineinander.

- 5 Ein wesentlicher Kernpunkt dieser Bemühungen ist die Einführung eines Prozesses, bei dem ein in der Auftragssteuerung befindliches Fahrzeug möglichst spät einem konkreten Kunden zugeordnet werden kann.

Figur 3 stellt beide Prozessstrukturen vergleichend gegenüber.

- 10 Um diese Reduzierung der Lieferzeiten zu erreichen, wird beispielsweise angestrebt, die Fahrzeugeinplanung in den Werken von einer ZP8-Woche auf einen ZP8-Tag umzustellen (ZP8 = Zählpunkt 8; der Zählpunkt 8 markiert die Fertigstellung eines Fahrzeugs). Im Unterschied zu heutigen Prozessen wird bei der Tagesorientierung anstatt des Auftragsbestandes einer Kalenderwoche immer nur der Auftragsbestand eines Tages an  
15 die Fertigung übergeben. Dieser Prozess wird als „Tagesorientierung“ bezeichnet. Im Gegensatz zu der klassischen Auftragsabwicklung kann der Prozess „Tagesorientierung“ die zeitliche Verlagerung des Einfrierzeitpunktes (EZP) des Auftrags ermöglichen. Der Einfrierzeitpunkt markiert den spätestzulässigen Termin für die Änderung einer Eigenschaft beziehungsweise eines Auftrags. Grundgedanke jeder der in Figur 4 dargestellten  
20 Prozessstufen ist die Erhöhung der Flexibilität in der Auftragsabwicklung.

Eine Änderung der Spezifikation des Auftrags ist in Abhängigkeit von der zu verändernden Eigenschaft unter Umständen bis kurz vor Fertigungsbeginn zulässig.

- 25 Die Einführung des Prozesses der „Tagesorientierung“ erfordert die Erfüllung bestimmter Voraussetzungen. Beispielsweise ist die Stabilität der Freigabe von Einsatzterminen zu gewährleisten. Des Weiteren dürfen die Vorlaufzeiten für die Beschaffung der Teile nicht außerhalb des Zeitfensters für die Änderung der Spezifikation des Auftrags liegen. Ansonsten reduzieren sich die Änderungsmöglichkeiten auf geringe Eigenschaftsumfänge.  
30 Ansonsten würde der Vorteil, der aufgrund der Flexibilisierung der Auftragsabwicklung resultiert, nicht ausgeschöpft werden. Die Lieferzeiten könnten nicht signifikant gesenkt werden.

- 35 Der Vorteil der Tagesorientierung im Vergleich zu dem im Anschluss beschriebenen „2+2“-Prozess ist bei ungestörten Aufträgen die Fixierung eines Auftrags in der Auftragssteuerung auf einen ZP8-Tag. Verwirbelungen von Aufträgen in der Fertigung zum Beispiel, wie im „2+2“-Prozess, sind dann nicht mehr möglich.



Aufgrund dieser Maßnahme resultiert eine konstante Sequenz von Aufträgen vor der Fertigung. Die Tagesorientierung stabilisiert und vereinfacht somit den Prozess. Eine konsequente Umstellung auf die modifizierte Prozessstruktur würde unter Umständen nicht vorhersehbare Komplikationen verursachen. Aus diesem Grund wurden diverse Prozessstufen entwickelt, die einen gleitenden Übergang ermöglichen. Diese Prozessstufen sind in Figur 4 dargestellt.

Auch durch schrittweise, evolutionäre Einführung der jeweiligen Prozessstufe wird die Lieferzeit sukzessive reduziert.

Da bei der Umsetzung der Prozessstufe „Tagesorientierung“ wie erwähnt Probleme auftreten könnten, wird in dem beispielhaften Vorgehen eine Vorstufe „2+2“ zwischengeschaltet. Dieser Prozess ermöglicht unter bestimmten Randbedingungen bereits eine Durchlaufzeit von vierzehn Kalendertagen. „2+2“ soll verdeutlichen, dass bei einer Bestellzeit von vier (=2+2) Wochen durch den Händler Auftragsänderungen bis zirka zwei Wochen vor dem ZP8-Termin möglich sind - im Gegensatz zu „1+3“, wo zwar ebenfalls vier (=1+3) Wochen zwischen Bestellung und Fertigungstermin liegen, der Auftrag jedoch bereits drei Wochen vor dem ZP8-Termin eingefroren wird, so dass eine Auftragsänderung nur bis drei Wochen vor dem ZP8-Termin möglich ist.

Gegenüber dem „1+3“ wird somit die Durchlaufzeit um eine Woche reduziert. Der Handel bestellt bei „2+2“ also ein Fahrzeug spätestens vier Wochen vor dem geplanten Fertigungstermin (ZP8-Woche). Auftragsänderungen sind dann bis zirka zwei Wochen vor ZP8-Termin möglich. Die Änderung eines Auftrags führt in diesem Falle nicht zu einer Terminverschiebung. Der Handel kann einen Auftrag auch ohne konkrete Kundenbestellung in die Systeme einstellen. Die Eigenschaftsspezifikationen eines Händlerauftrags können dann entsprechend dem Kundenwunsch bis zum Einfrierzeitpunkt geändert werden.

Wie ersichtlich geworden ist, handelt es sich bei dem Auftragsabwicklungsprozess in der Automobilindustrie um ein sehr komplexes System mit zahlreichen unterlagerten Systembestandteilen und Querverbindungen, so dass die Beherrschung der Funktionsweise der einzelnen Kettenglieder des Prozesses im Rahmen einer Gesamtbetrachtung am realen Prozess schwierig erscheint. Aus diesem Grund wird das im Folgenden näher beschriebene Simulationswerkzeug eingesetzt. Der Auftragsabwicklungsprozess wird in ein Modell übertragen und simuliert.

Ausgehend von der Bestrebung der Optimierung des Gesamtprozesses können durch veränderte Parametereinstellungen Auswirkungen in allen Teilabschnitten der Prozesskette ermittelt werden. Hierbei wird in der beispielhaften Simulation zunächst ein idealisierter Systemzustand modelliert. Das Ergebnis der Simulation dieses Referenzmodells bildet gewissermaßen die Benchmark für nachfolgende Simulationsläufe, wobei der Systemzustand nun dadurch variiert wird, dass in der Realität beobachtbare Ereignisse die Kontinuität des Prozessablaufes behindern. Darüber hinaus können so genannte „worst case“-Studien durchgeführt werden. Hierbei wird ermittelt, bei welcher Konstellation bezüglich der Parametereinstellung das System instabil wird, das heißt die Funktionsfähigkeit des Systems gefährdet ist.

Am realen System ist diese Form der Systemanalyse nicht praktikabel, da diese Vorgehensweise sehr kostenintensiv wäre.

Ein vollständiges Modell der Auftragsabwicklung ist in die Teilbereiche Fahrzeugaufbau, Absätze, Planung, Märkte/Distribution und Werke untergliedert. Die Figur 5 zeigt im Überblick die vollständige Struktur eines Simulationsmodells und die logischen Verknüpfungen der Systembestandteile. Nachfolgend werden die oben erwähnten Bestandteile der Modellstruktur - Fahrzeugbeschreibung, Absatz, Prozesssteuerung, Märkte/Distribution, Werke - und deren Komponenten kurz allgemein und daran anschließend auf zwei jeweils mehr detailliert dargestellten Ausführungsstufen erläutert. Parallel dazu wird im ersten Falle gezeigt, wie die Gesetzmäßigkeiten des Realsystems in dem Modellaufbau implementiert sind. Im Anschluss daran wird die Vorgehensweise bei der Modellbildung anhand einer konkreten Simulationsstudie beispielhaft erläutert.

#### Absätze

Unter der Rubrik „Absätze“, ist ein Wertverlauf für den globalen, absoluten Absatz der betrachteten Fahrzeugklassen bezogen auf den Simulationszeitraum anzugeben. Je nach Fragestellung besteht die Möglichkeit, saisonale Absatzschwankungen zu definieren, indem die Eingabe von Absatzzahlen beispielsweise auf Monatsbasis, anstatt aggregiert auf Basis eines Jahres, vorgenommen wird. Diese Funktionalität ist beispielsweise auch im Zusammenhang mit der Kennzahl „Atmenden Fabrik“ von Bedeutung.

## Fahrzeugbeschreibung

Ein Fahrzeug wird beispielsweise durch einen sechsstelligen Modellschlüssel vollständig beschrieben. Bestandteile dieses Schlüssels sind etwa Angaben zur Fahrzeugklasse (Plattform und Baureihe), die Bezeichnung der Karosserieform (Limousine, Variant und so weiter), die Ausstattungsstufe (Basis, Trendline, Comfortline, Highline und so weiter), sowie die Bezeichnungen für Motor und Getriebe.

Hierarchisch dem Modellschlüssel untergeordnet, erfolgt über eine Liste so genannter „PR-Nummern“ die detaillierte Auflösung des Fahrzeugs. Dabei erfolgt über PR-Nummern die eindeutige Beschreibung einer Eigenschaft. Jede Eigenschaft wird genau einer PR-Nummer zugeordnet. PR-Nummern werden zu „PR-Nummern-Familien“ zusammengefasst. Beispielsweise sind die PR-Nummern „ohne Airbag“ und „Airbag für Fahrer“ der PR-Nummern-Familie „Airbag (Kurzbezeichnung AIB)“ zugeordnet. Jedes Fahrzeug wird durch genau eine PR-Nummer aus jeder PR-Nummern-Familien eindeutig beschrieben. Diese Struktur wird auch im Aufbau des Modells berücksichtigt.

Länder- beziehungsweise Marktspezifika bei der Fahrzeugbeschreibung sind gesondert zu definieren. Beispiele hierfür sind Fahrzeuge mit Rechtslenkung oder spezielle Abgasnormen.

Der Fahrzeugaufbau berücksichtigt unterschiedliche Ebenen. In Figur 6 ist diese Struktur wiedergegeben. In diesem Beispiel wurden die Ebenen Konzern (Wurzel, 1. Ebene), Plattform (2. Ebene), Fahrzeugtyp beziehungsweise -klasse (3. Ebene), Karosserieform (4. Ebene), Ausstattung (5. Ebene) und Länderkennzeichen (6. Ebene) berücksichtigt. Die Anzahl der Ebenen ist abhängig von dem Modellumfang. Wird beispielsweise lediglich eine Plattform oder nur eine Fahrzeugklasse einer Plattform betrachtet, können die betreffenden Ebenen entsprechend zusammengefasst werden. Im umgekehrten Fall kann durch die Modellierung weiterer Ebenen der Detaillierungsgrad erhöht werden. Im Rahmen der Modellbildung ist ex ante festzulegen, inwieweit von der realen Struktur der Fahrzeugebenen abstrahiert werden kann.

Des Weiteren sind auf allen Ebenen Einbauraten (EBR) zu definieren. Die Einbaurate einer Eigenschaft definiert den Anteil dieser Eigenschaft in Relation zu der Eigenschaftsfamilie. Wird durchgängig jeweils nur eine Fahrzeugbeschreibung je Ebene modelliert, entspricht die EBR jeder Ebene 100 %. Weitere Attribute jeder Ebene sind „PR-Nummern-Setzungen“, „PR-Nummern-Spezifikationen“ und „PR-Nummern-Gruppen“.

Unter PR-Nummern-Setzungen versteht man alle diejenigen Eigenschaften, die bereits in der Basisausstattung der jeweiligen Fahrzeugbeschreibung verbaut werden, wobei jeweils eine Eigenschaft einer PR-Nummern-Familie als Setzung zu modellieren ist. Als PR-  
5 Nummern-Gruppe wird die Kombination von Eigenschaften bezeichnet. Über diese Funktionalität könnten beispielsweise Zwänge und Verbote abgebildet werden. Die Notwendigkeit zur Bildung von Eigenschaftskombinationen könnte einerseits technisch bedingt sein. Andererseits lassen sich über diese Funktionalität auch Maßnahmen des Vertriebs abbilden. Aus diesem Grund kann der Kunde in einigen Fällen lediglich aus einer  
10 Vielzahl so genannter Ausstattungspakete wählen, wodurch die Variantenvielfalt gesenkt und die Eigenschaftsprognose erleichtert wird.

PR-Nummern-Spezifikationen wiederum sind alle in dem Modell berücksichtigten Eigenschaften je Eigenschaftsfamilie, aus denen der Kunde sein Fahrzeug individuell  
15 konfigurieren kann. Sowohl für die PR-Nummern-Gruppen als auch für die PR-Nummern-Spezifikationen sind jeweils Einbauraten zu definieren. Für die gesetzten Eigenschaften ist die Eingabe einer EBR nicht erforderlich. Die EBR der jeweils gesetzten Eigenschaft ergibt sich aus der Differenz der Summe der EBR der nicht gesetzten Eigenschaften einer PR-Nummern Familie zu Eins.

20

### Prozesssteuerung

Im Rahmen der Prozesssteuerung wird der Zeithorizont für die Prognosen und die Einplanung der Fahrzeuge festgelegt. Die verschiedenen Prozessstufen, wie sie oben im  
25 Zusammenhang mit der Umstellung auf eine modifizierte Prozessstruktur beschrieben wurden, lassen sich anhand von Terminserien parametrisieren. Über die Terminserien wird der rollierende Planungsrythmus abgebildet. Dafür sind Zeitpunkte und die entsprechenden zeitlichen Abstände der Ereignisse während des Planungsprozesses zu definieren.

30

### Märkte/Distribution

Bei den Märkten kann zwischen den Händlern (Inlandsmarkt) und Importeuren differenziert werden. Diese Differenzierung kann deswegen sinnvoll sein, weil im Unterschied zum  
35 Inlandsmarkt die Fahrzeugbestellungen aus Exportmärkten nicht auf Kundenaufträgen basieren, sondern in der Regel auf Prognosen. Die Fahrzeuge werden in diesem Fall vom Importeur spezifiziert. Ein Händler/Importeur wird über die Bezeichnung, den Ort des

Zielbahnhofs, die Distributionskanäle, die Vorzugswerke und spezifische Händlerplanungsparameter vollständig beschrieben. Die Distributionskanäle wiederum können erforderlichenfalls in so genannte Unterdistributionskanäle untergliedert werden. Diese Funktionalität ermöglicht die Verschachtelung von Distributionswegen.

5 Beispielsweise besteht die Option, sowohl alternative Transportmittel als auch verschiedene Routen abzubilden. Jeder Distributionskanal ist in der vorliegenden Ausführungsform über die Attribute „Ausgangspunkt“, „Zielpunkt“, „Fahrplan“ (= zeitlicher Abstand zwischen zwei Transporten), „Transportkapazität“, „Transport-“ und „Verladedauer“ definiert.

10

Angaben bezüglich der Termine für die Volumenvereinbarung und Fahrzeugbestellungen eines Händlers/Importeurs sind Bestandteil der spezifischen Händlerplanungsparameter. Weiteres Merkmal ist die Klassifizierung der Kunden durch Segmentierung. In dem beispielhaften Modell werden die Kunden entsprechend ihrer Präferenzen bezüglich der

15 Lieferzeit differenziert.

#### Werke

Ein Werk ist durch die Bezeichnung, die Kapazität, die Durchlaufzeit, Sperrungen, den

20 Zielbahnhof und die in dem Werk verbauten Fahrzeugklassen vollständig beschrieben. Als Sperrung wird die temporäre Beeinträchtigung der Verfügbarkeit der geplanten Kapazität einer oder mehrerer Eigenschaften bezeichnet. Die Kapazität eines Werkes wird durch Multiplikation der Ausbringung pro Stunde und der Wochenarbeitszeit des Werkes ermittelt. Gesetzlich geregelte Feiertage und Werksurlaub werden in dem beispielhaften

25 Simulationswerkzeug separat aufgeführt und in der Kapazitätsplanung berücksichtigt. Sowohl für den Durchsatz als auch für die Wochenarbeitszeit kann ein Grad der Flexibilität im Zeitverlauf definiert werden.

30 Bezogen auf die Durchlaufzeit sind in dem betrachteten Ausführungsbeispiel die Plandurchlaufzeit und die Durchlaufzeitverteilung als Wertverlauf anzugeben. Auf Basis der Plandurchlaufzeit erfolgt die zeitliche Einplanung des Auftrags in der Fertigung. In Abhängigkeit von der Varianz der Durchlaufzeitverteilung ergeben sich entsprechend Effekte auf die ZP8-Treue. Eine Verbesserung der ZP8-Treue ist beispielsweise durch eine Verringerung der stochastischen Einflüsse erreichbar.

35

Anhand der Ergebnisse können dann Aussagen über die Stabilität des Auftragsabwicklungsprozesses insgesamt abgeleitet werden. Für den Fall, dass

ausschließlich die Stochastik in der Fertigung die Ursache der Destabilität in der Auftragsabwicklung darstellt, ermöglichen deterministische Fertigungszeiten unter sonst gleichen Bedingungen die genaue Bestimmung des Liefertermins.

- 5 Sperrungen von Eigenschaften werden in der beispielhaften Ausführungsform ebenfalls bei den Werken angegeben. Die Beschreibung der Sperrung erfolgt über deren Definition. Bestandteile der Definition sind Angaben bezüglich der Vorwarnzeit, der Dauer und dem Beginn der Sperrung sowie der anteiligen Kapazität der Eigenschaft, die von der Sperrung betroffen ist. Im Rahmen der Funktionalität „Sperrung“ könnte auch eine
- 10 Einsatzterminverschiebung modelliert werden. Von einer Einsatzterminverschiebung wird gesprochen, wenn eine Eigenschaft aufgrund vielfältiger Probleme nicht zum ursprünglichen Termin verbaut werden kann (synonym für „Einsatztermin“ wird auch „Start of Production“ (SOP) verwendet). Besonders problematisch ist dieser Umstand in den Fällen, wo die Nichteinhaltung des geplanten Einsatztermins sehr spät bekannt wird und in
- 15 der Einplanung dann nicht mehr berücksichtigt werden kann. Wenn ein Einsatztermin verschoben wird, erfolgt die Substitution der gesperrten Eigenschaft durch eine Eigenschaft der gleichen PR-Nummern-Familie. Aufgrund der hohen Komplexität und der Existenz zahlreicher Zwänge und Verbote bei Eigenschaftskombinationen, ist hierfür ein ausreichend langer Vorlauf vorzusehen. In diesem Zusammenhang wird deutlich, welche
- 20 Auswirkungen eine späte Bekanntgabe einer Einsatzterminverschiebung auf die Stabilität des Prozesses und infolgedessen auf die Einhaltung des geplanten ZP8-Termins haben kann.

- 25 Eine Angabe der verbauten Fahrzeugbeschreibungen und der entsprechenden relativen Anteile der Fahrzeugbeschreibungen an der gesamten Fertigung der jeweiligen Fahrzeugbeschreibung ist nur dann relevant, wenn mehr als ein Werk in dem Modell berücksichtigt wird und Fahrzeugbeschreibungen nicht ausschließlich in einem Werk gefertigt werden. Ansonsten beträgt der Anteil immer 100 %.

- 30 Die beispielhafte Ausführungsform der Simulation des Auftragsabwicklungsprozesses erlaubt es, vielfältige Fragestellungen zu untersuchen. Dabei können sowohl Auswirkungen von strategischen als auch operativ-taktischen Entscheidungsalternativen simuliert werden. Die nachfolgenden Beispiele sollen einen Eindruck für den universellen Einsatz der Erfindung vermitteln. Analysiert wird in allen Fällen wie die beschriebenen Kennzahlen
- 35 Lieferzeit, Liefertreue, Auslastung und Bestände variieren, wenn bestimmte Faktoren die Kontinuität des Prozesses negativ beeinflussen.

Auswirkungen strategischer Entscheidungen lassen sich untersuchen bezüglich

- der Implementierung einer neuen Prozessstufe,
- der Komplexitätsreduktion (Modularisierung in der Beschaffung und im Vertrieb),
- 5 - alternativer Beschaffungsstrategien (zum Beispiel: modular sourcing),
- alternativer Fertigungskonzepte (Kundenauftragsfertigung vs. Lagerfertigung),
- der Standortplanung,
- alternativer Distributionskanäle,
- der langfristigen Kapazitätsplanung (technische Kapazität),
- 10 - neuer Händlernetzstrukturen.

Mit dem erfindungsgemäßen Simulationswerkzeug können untersucht werden die Auswirkungen operativ-taktischer Maßnahme infolge von:

- 15 - Einsatzterminverschiebungen,
- Engpässen bei Zulieferern,
- nicht prognostizierter Nachfrage nach Fahrzeugen! Eigenschaften,
- temporären Kapazitätseinschränkungen in den Werken aufgrund eines
- 20 Maschinenausfalls und ähnlichem.

Im Folgenden soll nun der allgemeine Ablauf einer Simulationsstudie am Modell „Fahrzeugauslieferung an einem Auslieferungspunkt des Herstellers bzw. der Hersteller“ beschrieben werden.

25 Im Unterschied zu der herkömmlichen Übergabe von Neuwagen bei einem Händler wird dem Kunden in dem untersuchten Modell die Möglichkeit der Übergabe des neuen Fahrzeugs an einem Auslieferungspunkt des Herstellers beziehungsweise der Hersteller offeriert. Die Fahrzeugbestellung wird wie bisher auch von den Händlern vor Ort entgegengenommen.

30

Die mit der Auslieferung der Fahrzeuge an einem Auslieferungspunkt des Herstellers beziehungsweise der Hersteller verbundene Schwierigkeit besteht in der Notwendigkeit, dass die Fahrzeuge, die zu einem bestimmten Zeitpunkt an den Kunden übergeben werden sollen, auch genau dann zur Verfügung stehen müssen. Konkret resultiert aus 35 diesem Anspruch eine Liefertreue von 100 %. Dies setzt eine verbindliche Einplanung der kundenspezifischen Fahrzeuge und stabile Prozessabläufe voraus. Im Rahmen der

Einplanung sind insbesondere die persönlichen Präferenzen des Kunden hinsichtlich des Zeitpunktes der Auslieferung zu berücksichtigen.

Wie der oben beschriebene logistische Anspruch bezüglich der Liefertreue realisiert werden könnte, kann unter Verwendung des erfindungsgemäßen Simulationswerkzeugs aufgezeigt werden. Ausgehend von dem Status quo der Auslieferung wird dabei bestimmt, welche Systemanpassungen vorzunehmen sind, um dem Kunden einen verbindlichen Auslieferungstermin bereits zum Zeitpunkt des Eingangs der Kundenbestellung beim Händler mitzuteilen. Um die Auslieferung von Fahrzeugen an die Kunden zu dem zugesagten Termin verbindlich sicherstellen zu können, wird der Kunde gegenwärtig erst zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Fahrzeugs über den frühestmöglichen Tag der Übergabe informiert.

Da die Übernahme durch den Kunden nicht in jedem Fall kurzfristig erfolgen kann, müssen die Fahrzeuge in der Zwischenzeit gelagert werden. Hierfür wird eine bestimmte Kapazität an Stellplätzen benötigt. Kosten entstehen in Form von Kapitalbindung, fixe Kosten der Errichtung der Lagerflächen und variable Kosten der Lagerhaltung. Im Rahmen dieser Problematik kann auch eine monetäre Betrachtung vorgenommen werden. Ziel einer solchen Betrachtung ist es, aufzuzeigen, welche Einsparungen resultieren könnten, wenn die mit dem erfindungsgemäßen Simulationswerkzeug gewonnenen Erkenntnisse in die reale Prozessgestaltung einfließen würden. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren, die den Prozess destabilisieren können, ist es schwierig, den Bedarf an Stellflächen genau zu quantifizieren. Für den Fall, dass mehrere Einflüsse parallel auf das System einwirken, resultiert eine Durchlaufzeitverteilung mit einer hohen Varianz. Infolge dessen wäre der dem Kunden verbindlich zugesagte Liefertermin nicht zu halten.

Ziel der Simulation ist ein Vergleich alternativer Prozesskonfigurationen. Zunächst ist daher - wie oben bereits erläutert - ein Modell zu erstellen, das die relevanten Eigenschaften des realen Systems abbildet. In Bezug auf den hier beispielhaft zu untersuchenden speziellen Sachverhalt sind nicht alle Teilprozesse des Auftragsabwicklungsprozesses relevant. Entsprechend kann die Abstraktion geeignet vorgenommen werden.

Zur Untersuchung des gestellten Problems ist es zum Beispiel nur erforderlich, ein Werk A zu modellieren. Des Weiteren muss dazu nur der Anteil der im Werk A gefertigten Fahrzeuge berücksichtigt werden, der für den Inlandsmarkt bestimmt ist. Neben der Beschränkung auf das Werk A und den Markt Deutschland werden in der speziellen Ausführungsform nur folgende Ebenen des Fahrzeugaufbaus im Modell betrachtet:



- Hersteller,
- Plattformen: AOO und A,
- Fahrzeugklassen,
- 5 - Markt/Länderkennzeichen (Inland / Markt Deutschland).

Der Umfang der im beispielhaften Modell erfassten Eigenschaften beschränkt sich außerdem auf die Eigenschaftsfamilien, die regelmäßig als kritisch eingestuft sind. Als wichtiges Kriterium wird in diesem Zusammenhang angesehen, in dem Modell annähernd  
10 die Komplexität der Fahrzeugbeschreibung in der Realität abzubilden. Die in dem beispielhaften Modell abgebildete Komplexität bezieht sich auf die im Werk A für den Markt Deutschland verbauten Eigenschaften bei beispielhaft betrachteten dreizehn Eigenschaftsfamilien. Demnach sind insgesamt dreizehn Eigenschaftsfamilien mit beispielsweise 68 Eigenschaften beziehungsweise PR-Nummern zu berücksichtigen. Im  
15 Rahmen der beispielhaften Modellierung werden die PR-Nummern-Spezifikationen und PR-Nummern-Setzungen ebenfalls abgebildet.

Die Ist- beziehungsweise Soll-Einbauraten der Eigenschaften beziehungsweise Fahrzeugklassen werden den jeweiligen Planungssystemen entnommen. Da in diesem  
20 Beispiel lediglich die Fahrzeugsteuerung betrachtet wird, ist die Modellierung von Zulieferern für die Beantwortung der Fragestellung irrelevant. Die Terminleisten der im Werk A realisierten Prozessstufe „2+2“ werden auch im Modell implementiert. Die im Modell unterstellte Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit muss der tatsächlichen Fertigungszeit im Werk A entsprechen. Abzubilden sind hierzu zum Beispiel die Netto-  
25 Fertigungsdurchlaufzeiten. Maschinenstillstandszeiten (zum Beispiel die Wochenenden) werden von den Brutto-Fertigungsdurchlaufzeiten subtrahiert. Da die Fertigungsdurchlaufzeiten für die einzelnen Fahrzeugtypen unterschiedliche Verteilungen aufweisen, wird eine getrennte Modellierung der Montagelinien vorgenommen. In diesem Punkt kann keine Abstraktion von der Realität erfolgen.

30 Für das reale Layout der Fertigungsanlagen für einen ersten Fahrzeugtyp X im Werk A ist beispielhaft eine Unterteilung der Fertigung in drei unabhängige Segmente angenommen worden. Die Fertigungsdurchlaufzeiten in den jeweiligen Segmenten sind ebenfalls unabhängig voneinander angesetzt worden. Um die Modellkomplexität nicht unnötig zu  
35 erhöhen, kann auf diese Trennung verzichtet werden. Stattdessen wäre dann ein Durchschnittswert über die Fertigungszeiten der drei Segmente zu bilden.

Für die Fertigung des Fahrzeugtyps X wurde eine Plandurchlaufzeit für die Fertigung von zirka 75 h und für die Fertigung eines zweiten Fahrzeugtyps Y von zirka 60 h angenommen, wobei sich die Plandurchlaufzeit der Fertigung aus der Summe der Plandurchlaufzeiten für Rohbau, Lack und Montage ergibt.

5

Es sollen in der beispielhaften Simulation ausschließlich logistische beziehungsweise produktionstechnische Einflussfaktoren in der Prozessanalyse bewertet werden. Figur 7 zeigt die für dieses Modell benötigten Eingabe- und Ausgabedaten im Überblick.

## 10 Implementieren des Modells

### Allgemeine Umsetzung des Modellkonzeptes

Das Modellkonzept wird zunächst als Referenzmodell im Simulationsmodell umgesetzt. Als  
15 Simulationszeitraum wurde ein Zeitraum von zwei Jahren festgelegt mit einem Fahrzeugvolumen von zirka 500.000 Fahrzeugen. Die Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit wird im Modell über ein Histogramm abgebildet, das heißt, man bestimmt Intervalle von Durchlaufzeiten und ermittelt jeweils den prozentualen Anteil an Fahrzeugen, deren Fertigungsdurchlaufzeit einem Wert innerhalb der Grenzen dieser  
20 Intervalle aufweist.

Figur 8 zeigt die realen Durchlaufzeitverteilungen für die Fertigung der beiden Fahrzeugtypen X und Y im Werk A.

25 In Figur 9 und Figur 10 sind die Durchlaufzeitverteilungen für die beiden Fahrzeugtypen X und Y kumuliert dargestellt.

Nachfolgend werden für das erfindungsgemäße Simulationswerkzeug Konfigurationen von zwei unterschiedlichen Szenarios der Prozessgestaltung vorgestellt.

30

In einer ersten Ausführungsform wird das Referenzmodell in Szenario S1 durch die Berücksichtigung der Besonderheiten modifiziert, die im Zusammenhang mit der Fahrzeugauslieferung an einem Auslieferungspunkt des Herstellers beziehungsweise der Hersteller auftreten. Wie weiter oben bereits beschrieben, erfolgt die Festlegung eines  
35 verbindlichen frühestmöglichen Auslieferungstermins erst zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Fahrzeugs (ZP8).

- In der Zeit zwischen der Fertigstellung des Fahrzeugs und der Übergabe des Fahrzeugs an den Kunden an einem Auslieferungspunkt des Herstellers beziehungsweise der Hersteller muss das Fahrzeug auf hierfür vorgesehenen Stellplätzen zwischengelagert werden. Aufgrund von Erfahrungswerten wurde mit einer durchschnittlichen Standzeit von vierzehn bis sechzehn Kalendertagen gerechnet. Dieser Richtwert kann jedoch variieren. Um die Kundenankunftszeit geeignet abzubilden, wurde ein zeitverzögerndes Element innerhalb des Distributionskanals modelliert. Die im Modell als Kundenankunftszeit bezeichnete Verteilung entspricht der Zeitspanne zwischen der Information des Kunden über die frühestmögliche Auslieferung des Fahrzeugs und dem tatsächlichen Zeitpunkt der Fahrzeugauslieferung. Im Mittel ergibt sich eine durchschnittliche Kundenankunftszeit von zirka sechzehn Kalendertagen. Für die Zwischenlagerung der Fahrzeuge wurde eine Kapazität von zirka 8.700 Stellplätzen auf dem Werksgelände vorgesehen. Zusätzlich können Ausweichplätze unbestimmter Kapazität berücksichtigt werden.
- 15 In einem ersten Simulationsschritt wird nun der Stellflächenbedarf für die geschilderten drei Ausbaustufen ermittelt, wobei die reale Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit der beiden Fahrzeugtypen X und Y unterstellt wird (Verteilung Va in den Figuren 11 beziehungsweise 12). Im Anschluss daran wird die Varianz in der Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit sukzessive reduziert (Verteilung Vb und Vc in den Figuren 11 beziehungsweise 12). Durch diese Maßnahme kann die ZP8-Treue erhöht werden. Im Rahmen dieser Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss der Stochastik in der Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit auf die ZP8-Treue quantifiziert.
- 25 Figur 11 und Figur 12 zeigen die Verteilungen Va, Vb und Vc der Fertigungsdurchlaufzeit für die Fertigung des Fahrzeugtyps X beziehungsweise für die Fertigung des Fahrzeugtyps Y. Anhand der Verläufe der Fertigungsdurchlaufzeitverteilung lässt sich in beiden Fällen die Verringerung der stochastischen Einflüsse erkennen.
- 30 Nachfolgend wird eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Simulationswerkzeuges beschrieben, wobei in der Konfiguration ein zweites Szenario S2 umgesetzt wurde.
- 35 Das Szenario S2 der zweiten Ausführungsform basiert auf den Erkenntnissen der Sensitivitätsanalyse bezüglich der Verringerung der Varianz der Fertigungsdurchlaufzeit. Ein stabiler Fertigungsprozess ermöglicht das Vorziehen des Zeitpunktes der Übermittlung der Information des frühestmöglichen Auslieferungstermins an den Kunden. Infolgedessen reduziert sich die durchschnittliche Standzeit des Fahrzeugs nach ZP8. Im Optimum kann

der vom Kunden präferierte Auslieferungstermin bereits in der Fahrzeugeinplanung berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu Szenario S1 wird die Verteilung der Kundenankunftszeit nicht in der Distribution, sondern bereits als Kundenwunschterminverteilung in der Auftragseinplanung implementiert.

5

In Figur 13 werden die beiden Szenarios vergleichend gegenübergestellt. Um beide Szenarios besser vergleichen zu können, wurde in Szenario S2 für den Kundenwunschtermin genau die gleiche Verteilung wie bei der Kundenankunftszeit in Szenario S1 unterstellt.

10

Nach der Implementierung wurde das Modell verifiziert und validiert. Wie bereits einleitend beschrieben, wird bei der Verifizierung ein Vergleich zwischen dem Modell und der Modellkonzeption durchgeführt, das heißt, es wird geprüft, ob im Modell alle relevanten Systemzusammenhänge, die im Rahmen der Konzeption definiert wurden, abgebildet sind.

15

Bei der Überprüfung der Validität des Modells wurden die Simulationsergebnisse mit den Daten des realen Systems verglichen. Diese Vorgehensweise empfiehlt sich in den Fällen, wo reale Eingangsdaten verwendet werden. In der beispielhaften Simulation wurden sowohl Teilprozesse als auch der Gesamtprozess überprüft. Für die Validierung des Gesamtprozesses wurden die realen Treuemesswerte aus der Treuemessung für das Werk A zugrunde gelegt.

20

In Abhängigkeit der Fragestellung kann es ausreichen, wenn die Auswertung auf nur einem Simulationslauf basiert. Diese Vorgehensweise ist zum Beispiel im Zusammenhang mit der vorliegenden Fragestellung gerechtfertigt, weil in einem ersten Schritt lediglich eine grobe Abschätzung des Stellflächenbedarfs vorgenommen werden soll. Für den Fall, dass genaue Werte zu bestimmen sind, müssen statistische Verfahren angewandt werden. Dies beinhaltet unter anderem die Durchführung mehrerer Replikationen. Dabei ist sicherzustellen, dass der Startwert bei der Generierung der Zufallszahlen durch den Zufallsgenerator variiert wird. Ansonsten werden die Ergebnisse bei jeder Replikation reproduziert.

25

30

Darüber hinaus genügt meist auch für die Bestimmung der Dauer der „warming-up“-Periode eine grobe Abschätzung. Diese Vorgehensweise ist in der Regel zulässig, da für die konkrete Fragestellung lediglich ein Maximalwert ermittelt werden muss. Näherungsverfahren wären jedoch beispielsweise dann anzuwenden, wenn ein Durchschnittswert über eine bestimmte Ausgangsgröße ermittelt werden soll.

35

Bei der Auswertung der Daten der beispielhaften Simulationsläufe wurde eine Dauer von drei Monaten ermittelt, die das modellierte System zum Einschwingen benötigt.

- 5 In Figur 14 sind die Ergebnisse der Ermittlung des Stellflächenbedarfs auf Basis der realen Verteilung der Fertigungsdurchlaufzeit (Verteilung Va) für die Ausbaustufe 1 (Auslieferung von 300 Fahrzeugen täglich), Ausbaustufe 2 (600 Fahrzeuge täglich) und Ausbaustufe 3 (1.000 Fahrzeuge täglich) aufgeführt.
- 10 In Figur 15 wurden die Ergebnisse der oben beschriebenen Sensitivitätsanalyse bezüglich der Wirkung stochastischer Fertigungsdurchlaufzeiten auf die ZP8-Treue aufbereitet. Die in der Figur 15 aufgeführten Werte für die Standardabweichung in der Fertigungsdurchlaufzeit wurden aus einer Stichprobe von 1.000 Fahrzeugaufträgen für jede der drei unterstellten Verteilungen ermittelt. Der Erwartungswert für die Fertigungsdurchlaufzeit entspricht der
- 15 Plandurchlaufzeit.

- Im Rahmen der weiteren Vorgehensweise kann es sich als nützlich erweisen, vorauszusetzen, dass ein Übergang zu der Prozessgestaltung des Szenarios S2 nur dann in Betracht gezogen wird, wenn der Fertigungsprozess einen stabilen Verlauf aufweist.
- 20 Diese Voraussetzung ist zumindest in Ansätzen für die Fertigungsdurchlaufzeitverteilung Vc gegeben.

- Figur 16 zeigt den Stellflächenbedarf für den Fall der Verteilung Vc der Fertigungsdurchlaufzeit. Darüber hinaus geht aus Figur 17 das Einsparpotential bezüglich des Bedarfs an Stellflächen im Vergleich zum heutigen Prozess in Szenario S1 hervor.
- 25

- Die im Rahmen der beispielhaften Simulation durchgeführten monetären Betrachtung ergaben die in Figur 18 dokumentierten Einsparpotentiale, die in diesem Beispiel ausschließlich aus der Verringerung der Kapitalbindungskosten resultieren. Bei einer
- 30 Untersuchung, die darüber hinaus auch die Kosten der Bereitstellung von Flächen für die Zwischenlagerung der Fahrzeuge betrachtete, ergab sich ein entsprechend höherer Betrag.

- Die Berechnung der Einsparpotentiale bei der Substitution der Parameter aus Szenario S1 mit der Fertigungsdurchlaufzeitverteilung Va durch die Parameter des Szenario S2 mit der Fertigungsdurchlaufzeitverteilung Vc basiert auf der folgenden Gleichung:
- 35

jährliches Einsparpotential der Prozessveränderung

= Zins \* durchschnittlicher Verkaufspreis \* Reduzierung des durchschnittlichen Lagerbestandes

- 5 Als Kapitalmarktzins wurde dabei ein Zinssatz von 8 % unterstellt. Der durchschnittliche Verkaufspreis der in der Simulation betrachteten Fahrzeugklassen beträgt 30.000 Euro. Die Differenz des durchschnittlichen Lagerbestandes in beiden Szenarios wurde bereits in Figur 17 ermittelt. Weiterhin ist zu beachten, dass bei der Berechnung nur die in Werk A gefertigten Fahrzeuge berücksichtigt wurden. Auch in diesem Fall würden sich die Beträge
- 10 entsprechend erhöhen, wenn das gesamte Fahrzeugvolumen, das an den Kunden ausgeliefert wird, in die Gesamtkalkulation mit einfließen würde.

Bezogen auf ein einzelnes Fahrzeug ergeben sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Ausbaustufe die in der Figur 19 aufgeführten durchschnittlichen Ersparnisse.

15

Das Simulationswerkzeug ist in einer bevorzugten Ausführungsform in unterschiedliche Programmblöcke gegliedert, welche die oben beschriebenen Schritte, die bei der Simulation zur Untersuchung der jeweiligen Fragestellung erforderlich sind, umsetzen. Diese Programmblöcke haben den folgenden Funktionsumfang:

20

Programmblock "Systemlastgenerator"

25

Der Systemlastgenerator erzeugt in einfacher Form die Bedarfsprognosen der Händler und die Bestellungen der Käufer. Die Prognosen werden kontinuierlich (zum Beispiel monatlich) an die generierten (tatsächlichen) Bedarfe der Händler angepasst.

30

Dabei erzeugt der Systemlastgenerator einzeln für die Händler und in Summe einmalig zu Beginn eines Verkaufsjahres eine vereinfachte Prognose der Anzahl der Wagen, die über das folgende Jahr verteilt verkauft werden könnten. Zusätzlich zur Anzahl der wahrscheinlich benötigten Fahrzeuge werden ihre wesentlichen Ausstattungsmerkmale („heavy items“) charakterisiert.

Die Jahresprognose kann beispielsweise die in Figur 20 dargestellte Form besitzen:

- 35 Herauszustellen ist, dass hiermit eine vereinfachte Prognose erstellt wird, die näherungsweise die Prognoseverläufe der Händler widerspiegelt.

Über den simulierten Jahresablauf werden vom Lastgenerator Käuferbestellungen für jeden Händler erzeugt, deren Kurvendarstellung eine von der Jahresprognose abweichende, ähnlich vereinfachte Form besitzt.

- 5 Abhängig von dem (mittleren) Kurvenverlauf der Käuferbestellungen der vorhergehenden Monate werden für den nächsten Zeitraum (zum Beispiel 3 Monate) die Prognosen je Woche aktualisiert.

Hieraus ergibt sich beispielsweise ein Kurvenverlauf, wie ihn Figur 21 zeigt.

10

Die Ausgabedaten des Systemlastgenerators umfassen die Jahresprognosen der Händler, die Käuferbedarfe sowie die aktualisierten Wochenbedarfe (Anzahl und „heavy items“ der benötigten Fahrzeuge) der Händler für den nächsten Prognosezeitraum. Sie bilden in vereinfachender Form die Eingangslast für die folgenden Programmblöcke und können

15 auch graphisch veranschaulicht werden.

Programmblock „Kapazitätsabgleich“

20

Die wöchentlichen Bedarfe der Händler werden in diesem Programmblock mit den abstrahiert modellierten Kapazitäten der Werke und den ebenso grob nachgebildeten Kapazitäten der Zulieferer (vergleiche unten) abgeglichen und angepasst.

25

Hierzu werden die Bedarfe der Händler gesammelt und kumuliert. Nach einer Bedarfskorrektur durch den Zentralvertrieb, im Modell abstrahiert zum Beispiel durch Bedarfs- und Kapazitätsgrenzen dargestellt, erfolgt der Abgleich der Bedarfe (Anzahl, Items) mit den tatsächlichen Kapazitäten der Werke und der Zulieferer.

Der Kapazitätsabgleich kann dargestellt werden, wie es Figur 22 wiedergibt.

30

Aus dem Kapazitätsabgleich ergeben sich zugelassene Festauftragskontingente je Planungswoche, die angepasst an vorgegebene Modulkontingente wieder den Händlern mitgeteilt werden (vergleiche Figur 23).

35

Die Ausgabe des Programmblocks für den Kapazitätsausgleich umfasst die zugelassenen Festaufträge und Modulkontingente für die Händler. Sie bilden den Input für den Programmblock "Setzungsgenerator".

### Programmblock Setzungsgenerator

Der Setzungsgenerator erzeugt für jeden Händler aus den zugelassenen Festaufträgen und Modulkontingenten konkrete Setzungen (Festaufträge und Bestellmodule) für eine Lieferwoche (vergleiche Figur 24). Die Konkretisierung der Festaufträge zu Setzungen ist abhängig von den bisher beim Händler eingegangenen Käuferbestellungen und den für die Lieferwoche prognostizierten Bedarfen. Im Modell wird diese Konkretisierung durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit Mittelwerten und Streuungen nachgebildet.

- 10 Ausgaben des Setzungsgenerators sind die Setzungen je Händler und Lieferwoche. Diese einzelnen Setzungen werden durch den folgenden Programmblock den Werken zugeordnet und in Tagessetzungen umgewandelt.

### Programmblock „Werkszuordnung“

15

Die Eingabe für den Programmblock "Werkszuordnung" sind die Setzungen der Händler. Diese werden mit den Restriktionen (Kapazitäten, Auslastung, etc.) der Produktionswerke und Lieferanten abgeglichen. In diesem Programmblock findet die Werkszuordnung und die Aufteilung der Wochensetzungen auf die Liefertage statt (vergleiche Figur 25).

20

Die Ausgabedaten des Programmblocks „Werkszuordnung“ umfassen konkrete Setzungen mit Angaben über das Herstellwerk, die beteiligten Zulieferer und die Nennung des Liefertages.

25

Die so konkretisierten Setzungen werden den Händlern mitgeteilt und bilden den Input für den folgenden Programmblock.

### Programmblock „Setzungsmanipulator“

- 30 Während des gesamten Prozesses

Prognose -> Festaufträge -> Setzungen -> Tagesprogramme (siehe unten) ->  
Produktion -> Distribution

- 35 treffen Käuferbedarfe bei den Händlern ein.



Diese werden gegenläufig zum Prozess mit den noch freien Fahrzeugbeständen in der Distribution, der Produktion, in den Tagesprogrammen, den Händlersetzungen, Festaufträgen oder prognostizierten Bedarfen verglichen. Wird ein noch freies Fahrzeug in den Beständen gefunden, das den Käuferwünschen entspricht, so wird ihm die Käuferbestellung zugewiesen. Andernfalls wird versucht, die Prognosen, Festaufträge oder auch Setzungen dem Käuferwunsch anzupassen.

Aus der Sicht eines Händlers werden vorerst nur die eigenen Setzungen (beziehungsweise Festaufträge) mit dem Käuferwunsch verglichen. Trifft keine Setzung zu, so kann der Händler in dafür freigegebenen Setzungsbeständen eines Nachbarhändlers nachsehen und versuchen, aus ihnen den Käuferwunsch zu befriedigen. Dieser Prozess der Zuordnung eines Käufers zu benachbarten Händlern wird mit „Locating“ bezeichnet.

Der Programmblock „Setzungsmanipulator“ führt den gesamten skizzierten Vorgang der Bestands- und Setzungsabgleiche mit den Käuferbestellungen und das Locating durch und aktualisiert die einzelnen Setzungen der Händler.

Ergebnisse beziehungsweise Ausgaben des Setzungsmanipulators sind aktualisierte, mit Käuferbestellungen versehene Setzungen sowie Käuferaufträge mit zugeordneten Beständen oder in den Setzungen beziehungsweise Festaufträgen spezifizierten Fahrzeugen.

#### Programmblock „Tagesprogramm“

Dieser Programmblock arbeitet mit den täglichen Setzungen der Händler. Abhängig von werksspezifischen Vorgaben, zum Beispiel der spätest möglichen Startpunkte für die Montage, werden die Setzungen zu Tagesprogrammen zusammengestellt. Darüber hinaus werden die in den Setzungen spezifizierten Fahrzeuge in ihre Module aufgelöst. Dieses wird den Zulieferern als festgelegte Abrufmengen mitgeteilt.

Die Ausgaben des Programmblocks „Tagesprogramm“ sind Tagesproduktionsprogramme für die Werke sowie festgelegte Abrufmengen, die den Zulieferern mitgeteilt werden.

#### Programmblock „Produktion und Zulieferer“

In diesem Programmblock werden die einzelnen Produktionsstätten, die Werke der Zulieferer und die Zeiten für Montage oder für die Belieferung in abstrahierter Form durch mehrere Modellbausteine nachgebildet.

- 5     Dabei werden mittlere Durchlaufzeiten und Durchlaufzeitschwankungen sowie die Tagesproduktionskapazitäten für die Produktionsstätten und die Zulieferwerke als Parameter angegeben.

- 10    Darüber hinaus besitzen die Modellelemente Merkmalsbeschreibungen zum Beispiel über Grenzkapazitäten, Arbeitszeitmodelle, Personalstamm oder andere Spezifika der Werke, die für die Prognose- und Planungsvorgänge der vorher beschriebenen Programmblocke notwendig sind.

- 15    Die so in Grobmodellbausteinen nachgebildeten Produktionswerke geben in vereinfachter Form Feinabrufe an die Modellbausteine, die die Zulieferung nachbilden.

- 20    Als Eingang für diesen Programmblock dienen die Tagesprogramme. Der Programmblock erzeugt Fahrzeuge im Modell, die dem folgenden Programmblock „Distribution“ übergeben werden.

- 20    Programmblock „Distribution“

- 25    Ebenso wie die Produktionsstätten oder die Werke der Zulieferer wird die Distribution zu den Händlern oder direkt zu den Käufern abstrahiert in Form von Modellelementen abgebildet, die die mittleren Distributionszeiten nachbilden. Inwieweit die Auslastungen einzelner Transportkapazitäten berücksichtigt werden müssen, wird in der Konzeptionsphase geklärt.

- 30    Aufbau eines beispielhaften Grundmodells

- 30    Im Folgenden soll ein Grundmodell in größerer Detailtiefe beschrieben werden. Dieses Grundmodell bildet beispielhaft den Serienanlauf und das sich daran anschließende Jahr (zum Beispiel das Jahr 2003) ohne Störungen wie Streiks oder Zuliefererengpässe ab.

- 35    In dem Modell sollen die Märkte USA, Kanada, West Europa und ein Markt, der die übrigen Gebiete versorgt, betrachtet werden.

Die Märkte USA und Kanada setzen sich aus den in den Figuren 26a und 26b angegebenen PPCs zusammen. Die Märkte West Europa und „übrige Gebiete“ werden jeweils über einen Importeur mit 100%-Marktanteil abgebildet.

- 5 Auf dem Markt Europa wird eine Ausstattungsvariante A verkauft. Auf den weiteren Märkten USA, Kanada und „übrige Gebiete“ werden die Ausstattungsvarianten B, C und D verkauft.

Der Fahrzeugaufbau umfasst die modellierten Fahrzeugklassen und Ausstattungen.

10

Ein Fahrzeug wird in dem hier beschriebenen Modell durch je eine PR-Nummern-Familie beschrieben:

- 15
- Motoren,
  - Getriebe,
  - Klimaanlage,
  - Radio und
  - Verdeck.

- 20 Zusätzlich hat jedes Fahrzeug noch eine Außenfarbe.

Die einzelnen PR-Nummer-Familien setzen sich dabei beispielsweise wie in den Figuren 27a und 27b angegeben zusammen.

- 25 Der Produktbaum besteht aus einer Basis-Fahrzeugbeschreibung, einer Fahrzeugbeschreibung „Fahrzeug X, US“, die Gemeinsamkeiten der Ausstattungen B, C und D zusammenfasst, einer Fahrzeugbeschreibung „Fahrzeug X, Europa“ und den Ausstattungsvarianten A, B, C und D (vergleiche Figur 28).

- 30 Für diese Fahrzeugbeschreibungen wurden außerdem die folgenden Zwänge und Verbote definiert:

- 35
- 1,6 I-Motor immer mit Schaltgetriebe,
  - Ausstattungsvariante B immer mit 2,0 I-Motor,
  - Ausstattungsvariante C nie mit 1,4 I-Motor,
  - Ausstattungsvariante C nie mit 1,6 I-Motor,
  - Ausstattungsvariante D immer mit 2,0 I-Motor.

Für die Jahre 2002 und 2003 (Serienanlauf und das sich daran anschließende Jahr) wurden für das Fahrzeug X die in Figur 29 wiedergegebenen Absätze prognostiziert. Weiter wurde angenommen, dass der Anlauf des Fahrzeugs X zum Beispiel in der KW 31  
5 des Jahres 2002 beginnt und die in Figur 30 angegebenen Absatzdaten aufweist. Dieser Fahrzeugabsatz wird in dem Modell zunächst auf die beiden Fahrzeugbeschreibungen „Fahrzeug X, US“ und „Fahrzeug X, Europa“ aufgeteilt. Diese anteiligen Fahrzeugabsätze haben den in den Figuren 31a und 31b gezeigten Verlauf.

10 Die Fahrzeugbeschreibung „Fahrzeug X, Europa“ beziehungsweise die untergeordnete Fahrzeugbeschreibung A wird zu 100 % auf dem Markt Europa abgesetzt. Die Fahrzeugbeschreibung „Fahrzeug X, US“ und die untergeordneten Ausstattungsvarianten B, C und D werden mit der in den Figuren 32a und 32b wiedergegebenen Verteilung auf den Märkten USA, Kanada und „übrige Gebiete“ abgesetzt.

15

Für die Ausstattungsvarianten B, C und D wird weiter die folgende, konstante Verteilung angenommen:

- B: 10 % des Absatzes der Fahrzeugbeschreibung „Fahrzeug X, US“,
- 20 - C: 65 % des Absatzes der Fahrzeugbeschreibung „Fahrzeug X, US“,
- D: 15 % des Absatzes der Fahrzeugbeschreibung „Fahrzeug X, US“.

Für die Festlegung der Werkskapazität wurde angenommen, dass in (dem außereuropäischen) Werk A von Montag bis Freitag in zwei Schichten und Samstags in  
25 einer Schicht à 7 Stunden gearbeitet wird und die in Figur 33 angegebenen Tage arbeitsfrei (Feiertage oder Werksferien) sind.

Die anteilige Werksausbringung im Modell wurde so eingestellt, dass die Werksauslastung im Modell bezogen auf das Fahrzeug X im Durchschnitt 85 % betrug.

30

Die Distribution wurde wie folgt abgebildet:

- Fahrzeuge nach Europa werden zuerst in den Hafen Übersee transportiert (Dauer  
35 zirka eine Woche). Von dort erfolgt der Versand per Schiff in den Zielhafen (Dauer zirka drei Wochen). Im Zielhafen werden die Fahrzeuge abschließend zirka eine Woche gelagert. Die Distribution innerhalb Europas wird nicht weiter betrachtet.

- US-Distribution

- Fahrzeuge, die in den Markt „übrige Gebiete“ geliefert werden, gehen beispielsweise nach Latein-Amerika (Dauer zirka drei Wochen).

5

Die Transporte erfolgen im Modell täglich. Die Kapazität der Transporte kann dabei gegebenenfalls limitiert werden.

Für die Prozesssteuerung wurden folgende Parameter angenommen:

10

- FU1 (Werkszuordnung): 28 Kalendertage vor ZP8,
- Tagesauflösung (Aufteilung der Aufträge auf Tage): 28 Kalendertage vor ZP8,
- FU2 (Übergabe in die Fertigung): 14 Kalendertage vor ZP8,
- FU1 und FU2 finden wöchentlich statt,

15

- Prognosen werden monatlich erstellt,
- Volumenvereinbarungen werden monatlich erstellt,
- Händlerbestellungen finden wöchentlich statt.

20

Bei der Tagesprogrammbildung wird für die Verwirbelung der Auftragsreihenfolge die in Figur 34 dargestellte Wahrscheinlichkeitsverteilung angenommen.

Dieses so parametrisierte Grundmodell führt (ohne weitere Modifikation) zu den in den Figuren 35 bis 42 dargestellten Ergebnissen für:

25

- durchschnittliche, minimale und maximale Lieferzeit: Figur 35,
- durchschnittliche Liefer- und Auftragsdurchlaufzeit: Figur 36,
- Lieferzeit für Fahrzeuge mit einem bestimmten Motor: Figur 37,
- Einplanungstreue: Figur 38,
- Wochenprogrammtreue: Figur 39,

30

- ZP8-Treue: Figur 40,
- Liefertreue: Figur 41,
- Bestände: Figur 42.

Auf Basis dieses Grundmodells können nun verschiedene Szenarios entwickelt werden.

35

Szenario S3 zum Beispiel ist durch eine zu pessimistische Prognose über den Absatz gekennzeichnet.

Im Grundmodell wird die Annahme getroffen, dass die prognostizierten Absätze tatsächlich als Ist-Absätze eintreffen. In einem Szenario S3, welches den Absatz zu pessimistisch einschätzt, wird diese Annahme verworfen. Es wird dann untersucht, welche Auswirkungen eine zu pessimistische Absatzprognose auf den Prozess hat.

Hierfür kann das Modell für dieses Szenario S3 beispielsweise folgendermaßen erweitert werden, dass die Ist-Absätze die prognostizierten Absätze insgesamt um 20 % übertreffen.

Szenario S4 beispielsweise ist durch eine zu optimistische Prognose über den Absatz gekennzeichnet.

Analog zu Szenario S3 können die Auswirkungen untersucht werden, die eine zu optimistische Prognose auf den Prozess hat, indem etwa die Annahme getroffen wird, dass die prognostizierten Absätze insgesamt um 20 % über dem Ist-Absatz liegen.

Ein weiteres Szenario S5 bildet beispielsweise einen Streik in der Produktion ab.

Beispielhaft beginnt der Streik am 01. März 2003 und dauert insgesamt zehn Tage. Dabei können zwei Varianten untersucht werden. In der ersten Variante werden die Auswirkungen des Streiks ohne Gegenmaßnahmen untersucht. In einer zweiten Variante werden frühzeitig weniger Aufträge eingeplant, da der Streik bereits rechtzeitig bekannt war.

In entsprechend erweiterten Modellen können weitere Gegenmaßnahmen berücksichtigt werden.

In der beschriebenen Ausführungsform wird der Streik durch eine Störung der Werkskapazität abgebildet.

Variante Eins: Der Streik tritt auf, ohne dass Gegenmaßnahmen getroffen werden.

Die Simulationsergebnisse dieser Variante sind in den Figuren 43 bis 49 für:

- durchschnittliche Liefer- und Auftragsdurchlaufzeit: Figur 43,
- Lieferzeit für Fahrzeuge mit einem bestimmten Motor: Figur 44,
- Einplanungstreue: Figur 45,

- Wochenprogrammtreue: Figur 46,
- ZP8-Treue: Figur 47,
- Liefertreue: Figur 48,
- Bestände: Figur 49

5

dargestellt.

Variante Zwei: Nach zehn Tagen sind 1.165 Fahrzeuge verspätet. Als Reaktion auf den Streik wird in der Simulation die Soll-Ausbringung im März um diese 1.165 Fahrzeuge

10

reduziert.

Die Simulationsergebnisse dieser zweiten Variante sind in den Figuren 50 bis 56 für:

15

- durchschnittliche Liefer- und Auftragsdurchlaufzeit: Figur 50,
- Lieferzeit für Fahrzeuge mit einem bestimmten Motor: Figur 51,
- Einplanungstreue: Figur 52,
- Wochenprogrammtreue: Figur 53,
- ZP8-Treue: Figur 54,
- Liefertreue: Figur 55,
- Bestände: Figur 56

20

dargestellt.

25

In einem weiteren Szenario S6 kann beispielsweise ein Engpass bei der Lieferung von Diesel-Aggregaten in einer Simulation untersucht werden.

Hierfür wird das Modell beispielsweise um einen Zulieferer dieses Motors erweitert und die Kapazität so eingestellt, dass der Bedarf an Motoren exakt gedeckt werden kann. Der Engpass wird dann über eine Störung der Kapazität des Zulieferers abgebildet.

30

Die Erfindung beschränkt sich in ihrer Ausführungsform nicht auf die vorstehend angegebenen, bevorzugten Ausführungsbeispiele. Vielmehr ist eine Anzahl von Varianten denkbar, die von der erfindungsgemäßen Anordnung und dem erfindungsgemäßen Verfahren auch bei grundsätzlich anders gearteten Ausführungen Gebrauch machen.

35

## PATENTANSPRÜCHE

- 5 1. Verfahren zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:
- 10 a) Eingabe von Bedarfszahlen für mindestens eine Klasse des Produktes für mindestens einen vorgebbaren Zeitraum in eine Datenverarbeitungseinrichtung,
- b) automatischer Abgleich dieser Bedarfszahlen mit vorgebbaren, Fertigungs- und/oder (Fertigungs-)Zulieferkapazitäten beschreibenden Datensätzen durch ein auf der Datenverarbeitungseinrichtung installiertes Computerprogramm,
- 15 c) automatische Zuordnung der Bedarfszahlen oder von Anteilen der Bedarfszahlen zu Fertigungsorten (Werken),
- d) Ausführung einer Simulation der Fertigung und/oder Zulieferung für die Fertigung auf Basis der in Schritt c) erfolgten Zuordnung,
- 20 e) automatische Ermittlung der Distributionswege und Ausführung einer Simulation der Distribution(en) fertiggestellter Produkte von den Werken zu den Auslieferungsorten,
- 25 f) Speicherung und/oder Ausgabe wenigstens eines Teils der durch die Schritte a) bis e) erzeugten Daten.
- 30 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die bei dem automatischen Abgleich der Bedarfszahlen in Schritt b) nach Anspruch 1 genutzten Datensätze Restriktionen der Fertigungsorte und/oder Lieferanten umfassen.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bedarfszahlen in Schritt a) nach Anspruch 1 ermittelt werden, indem
- 35 - eine erste Bedarfsprognose für einen ersten Prognosezeitraum vorgegeben wird,



- eine zweite Bedarfsprognose für einen zweiten Prognosezeitraum mit stochastischen Verfahren aus der ersten Prognose ermittelt wird und
  - die Bedarfszahlen nach vorgebbaren, die erste und/oder zweite Bedarfsprognose auswertenden Algorithmen bestimmt werden.
- 5
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der automatische Abgleich in Schritt b) nach Anspruch 1 eine Korrektur der Bedarfszahlen zur Anpassung an die Fertigungs- und/oder (Fertigungs-)Zulieferkapazitäten umfasst.
- 10
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verfahrensschritte a) bis c) gemäß Anspruch 1 folgende Schritte umfassen:
- Vorgabe vorläufiger Bedarfszahlen (Bedarfsprognose) für einen ersten Prognosezeitraum, vorzugsweise für ein Verkaufsjahr,
- 15
- simulative Generierung von Händlerbestellungen für einen zweiten Prognosezeitraum, vorzugsweise für drei Monate,
- 20
- Auswertung der vorläufigen Bedarfszahlen und Händlerbestellungen und Ermittlung einer aktualisierten Bedarfsprognose für den zweiten Prognosezeitraum,
- 25
- Abgleich der aktualisierten Bedarfsprognose für den zweiten Prognosezeitraum mit den Kapazitäten der Fertigungsstätten und/oder der Zulieferer und Ermittlung von zugelassenen Festauftragskontingenten und/oder Modulkontingenten,
- 30
- Generierung der Bedarfszahlen (Setzungen) für den vorgebbaren Zeitraum, vorzugsweise eine Lieferwoche, durch Auswertung der zugelassenen Festauftragskontingente, Modulkontingente und/oder von simulierten bei den Händlern neu eingegangenen Käuferbestellungen,
- 35
- Abgleich dieser Bedarfszahlen (Setzungen) mit Restriktionen (Kapazität, Auslastung oder dergleichen) der Fertigungsstätte(n) und/oder Lieferanten und Zuordnung der Bedarfszahlen (Setzungen) zu der (den) Fertigungsstätte(n).

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der automatischen Zuordnung der Bedarfszahlen auf die Fertigungsstätten eine Aufteilung der Bedarfszahlen des vorgegebenen Zeitraums auf Tagessetzungen erfolgt.
- 5 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die automatische Zuordnung der Bedarfszahlen auf die Fertigungsstätten die Zusammenstellung von Tagesprogrammen für die Fertigungsstätten umfasst.
- 10 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die automatische Zuordnung der Bedarfszahlen auf die Fertigungsstätten die Auflösung der in den Tagessetzungen spezifizierten Produkte in ihre Module umfasst.
- 15 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bedarfszahlen Angaben zu wesentlichen Ausstattungsmerkmalen der Produkte („heavy items“) umfassen.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das der Simulation zugrunde liegende Modell mehrere Fertigungsorte abbildet.
- 20 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem der Simulation zugrunde liegenden Modell die eine Produktionsstätte charakterisierenden Parameter
- 25 - Grenzkapazitäten,  
- Arbeitszeitmodelle und/oder  
- Personalstamm
- umfassen.
- 30 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem der Simulation zugrunde liegenden Modell eine Differenzierung zwischen Händlern, insbesondere zwischen Händlern des Inlandsmarktes und Importeuren, vorgenommen wird.
- 35 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem der Simulation zugrunde liegenden Modell Distributionskanäle in Unterdistributionskanäle untergliedert sind.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die durch die Schritte a) bis e) gemäß Anspruch 1 erzeugten Daten

- 5
  - quantitative Bewertungen von Prozessentwürfen,
  - Bewertungen von Strategien, wie beispielsweise zum Störungsmanagement,
  - Einfrierzeitpunkte von Aufträgen,
  - Lieferzeiten,
  - Liefertreue,
- 10
  - Transportmittelauslastung und/oder
  - Kosten

umfassen.

15 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Verfahrens automatisch Daten aus Datenbanken realer Systeme, insbesondere aus Datenbanken von Händlern und/oder Fertigungsstätten, ausgewertet werden.

20 16. Simulationssystem, welches die Module „Prognose“, „Festaufträge“, „Setzungen“, „Produktion“ und „Distribution“ umfasst, wobei die Module, gesteuert durch ein auf einem Computer-System implementiertes Computerprogramm, derart zusammenwirken, dass folgende Schritte ausführbar sind:

- 25
  - a) Eingabe von Bedarfszahlen für mindestens eine Klasse des Produktes für mindestens einen vorgebbaren Zeitraum in eine Datenverarbeitungseinrichtung,
  - b) automatischer Abgleich dieser Bedarfszahlen mit vorgebbaren, Fertigungs- und/oder (Fertigungs-)Zulieferkapazitäten beschreibenden Datensätzen durch ein
- 30
  - auf der Datenverarbeitungseinrichtung installiertes Computerprogramm,
  - c) automatische Zuordnung der Bedarfszahlen oder von Anteilen der Bedarfszahlen zu Fertigungsorten (Werken),
- 35
  - d) Ausführung einer Simulation der Fertigung und/oder Zulieferung für die Fertigung auf Basis der in Schritt c) erfolgten Zuordnung,

- e) automatische Ermittlung der Distributionswege und Ausführung einer Simulation der Distribution(en) fertiggestellter Produkte von den Werken zu den Auslieferungsorten,
- 5 f) Speicherung und/oder Ausgabe wenigstens eines Teils der durch die Schritte a) bis e) erzeugten Daten.
17. Simulationssystem nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Simulationssystem Schnittstellen zu Datenbanken realer Systeme, wie Datenbanken von Händlern und/oder Fertigungsstätten, aufweist.
- 10
18. Computerprogramm-Erzeugnis, das ein computerlesbares Speichermedium umfasst, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere eines Kraftfahrzeuges, durchzuführen, wobei die Simulation die Verfahrensschritte gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 umfasst.
- 15
19. Computerlesbares Speichermedium, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere eines Kraftfahrzeuges, durchzuführen, wobei die Simulation die Verfahrensschritte gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 umfasst.
- 20
20. Verwendung eines Verfahrens zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 oder eines Simulationssystems gemäß einem der Ansprüche 16 oder 17 zur Ermittlung von Planungsdaten wie Optimierungspotentiale, Entscheidungsalternativen, Kennzahlen für Lieferzeit oder Liefertreue, Transportmittelauslastung, Kosten oder dergleichen.
- 25
- 30
21. Planungsdaten wie Optimierungspotentiale, Entscheidungsalternativen, Kennzahlen für Lieferzeit oder Liefertreue, Transportmittelauslastung, Kosten oder dergleichen, die durch ein Verfahren zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 oder durch ein Simulationssystem gemäß einem der Ansprüche 16 oder 17 verfügbar gemacht wurden.
- 35

## ZUSAMMENFASSUNG

**5                    Verfahren und Simulationssystem zur Simulation von  
Auftragsabwicklungsprozessen sowie entsprechendes Computerprogramm-  
Erzeugnis und entsprechendes computerlesbares Speichermedium**

- 10    Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Simulation von Auftragsabwicklungsprozessen zur Herstellung eines komplexen Produktes, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, sowie ein Simulationssystem, ein entsprechendes Computerprogramm-Erzeugnis und ein entsprechendes computerlesbares Speichermedium.
- 15    Hierzu sind folgende Schritte vorgesehen:
- a) Eingabe von Bedarfswerten für mindestens eine Klasse des Produktes für mindestens einen vorgebbaren Zeitraum in eine Datenverarbeitungseinrichtung,
  - 20    b) automatischer Abgleich dieser Bedarfswerten mit vorgebbaren, Fertigungs- und/oder (Fertigungs-)Zulieferkapazitäten beschreibenden Datensätzen durch ein auf der Datenverarbeitungseinrichtung installiertes Computerprogramm,
  - 25    c) automatische Zuordnung der Bedarfswerten oder von Anteilen der Bedarfswerten zu Fertigungsstellen (Werken),
  - d) Ausführung einer Simulation der Fertigung und/oder Zulieferung für die Fertigung auf Basis der in Schritt c) erfolgten Zuordnung,
  - 30    e) automatische Ermittlung der Distributionswege und Ausführung einer Simulation der Distribution(en) fertiggestellter Produkte von den Werken zu den Auslieferungsstellen,
  - 35    f) Speicherung und/oder Ausgabe wenigstens eines Teils der durch die Schritte a) bis e) erzeugten Daten.

(Fig. 5)

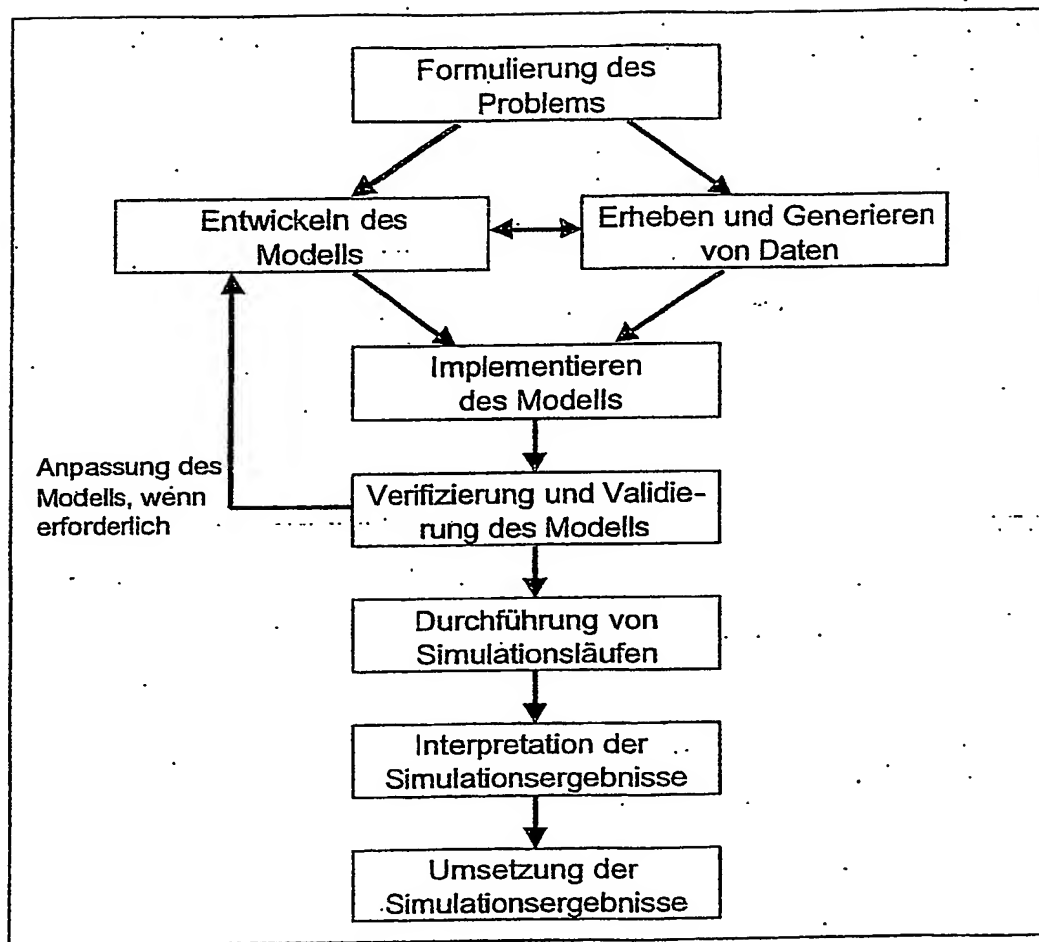


Fig. 1

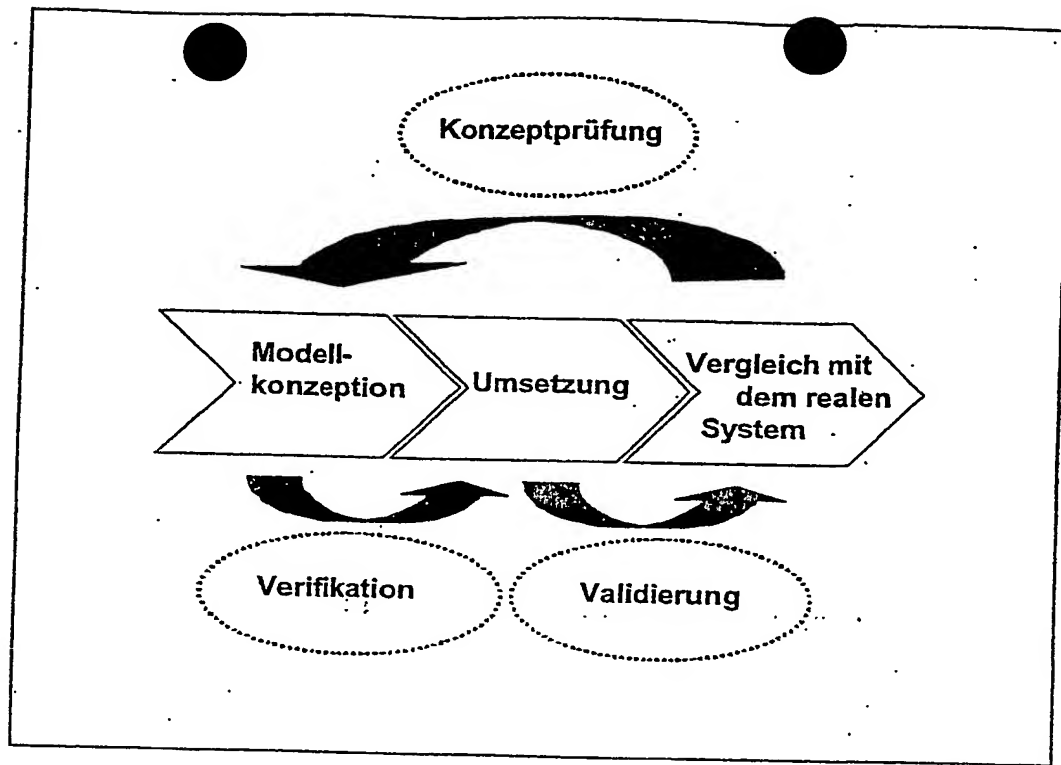


Fig. 2

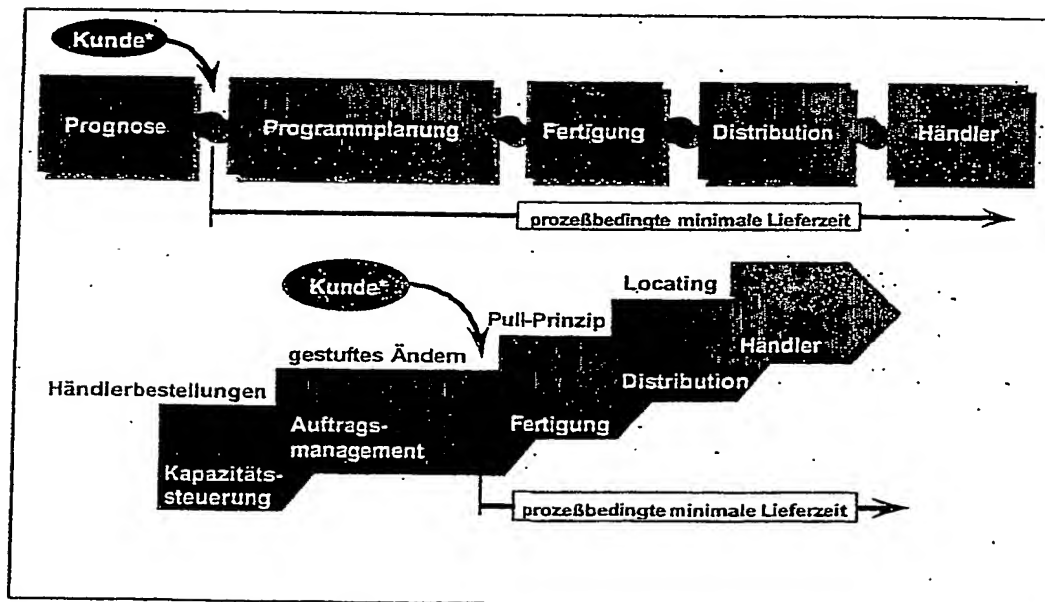


Fig. 3

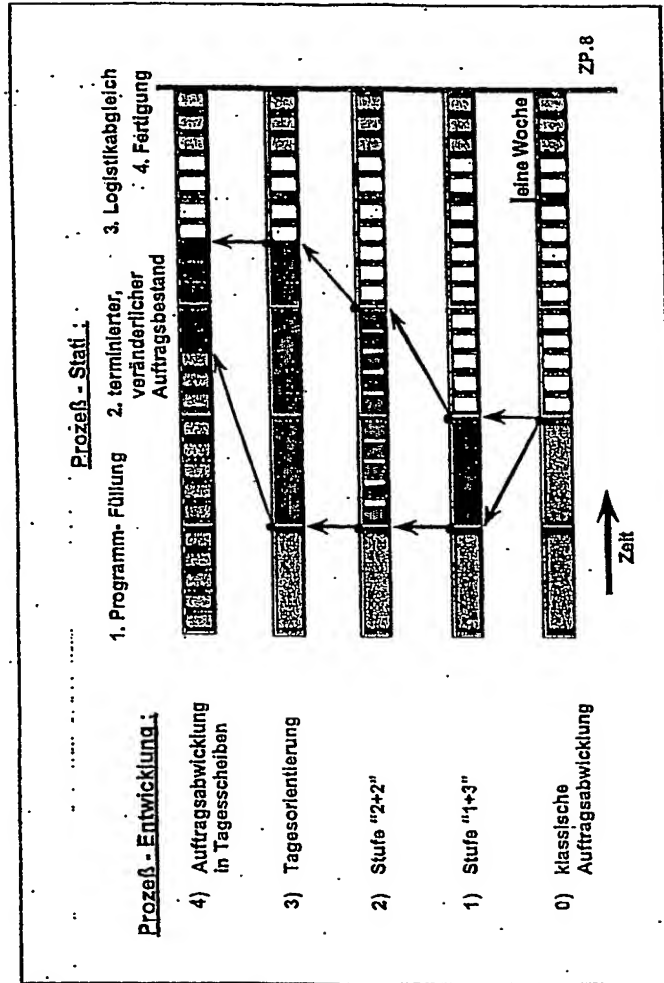


Fig. 4



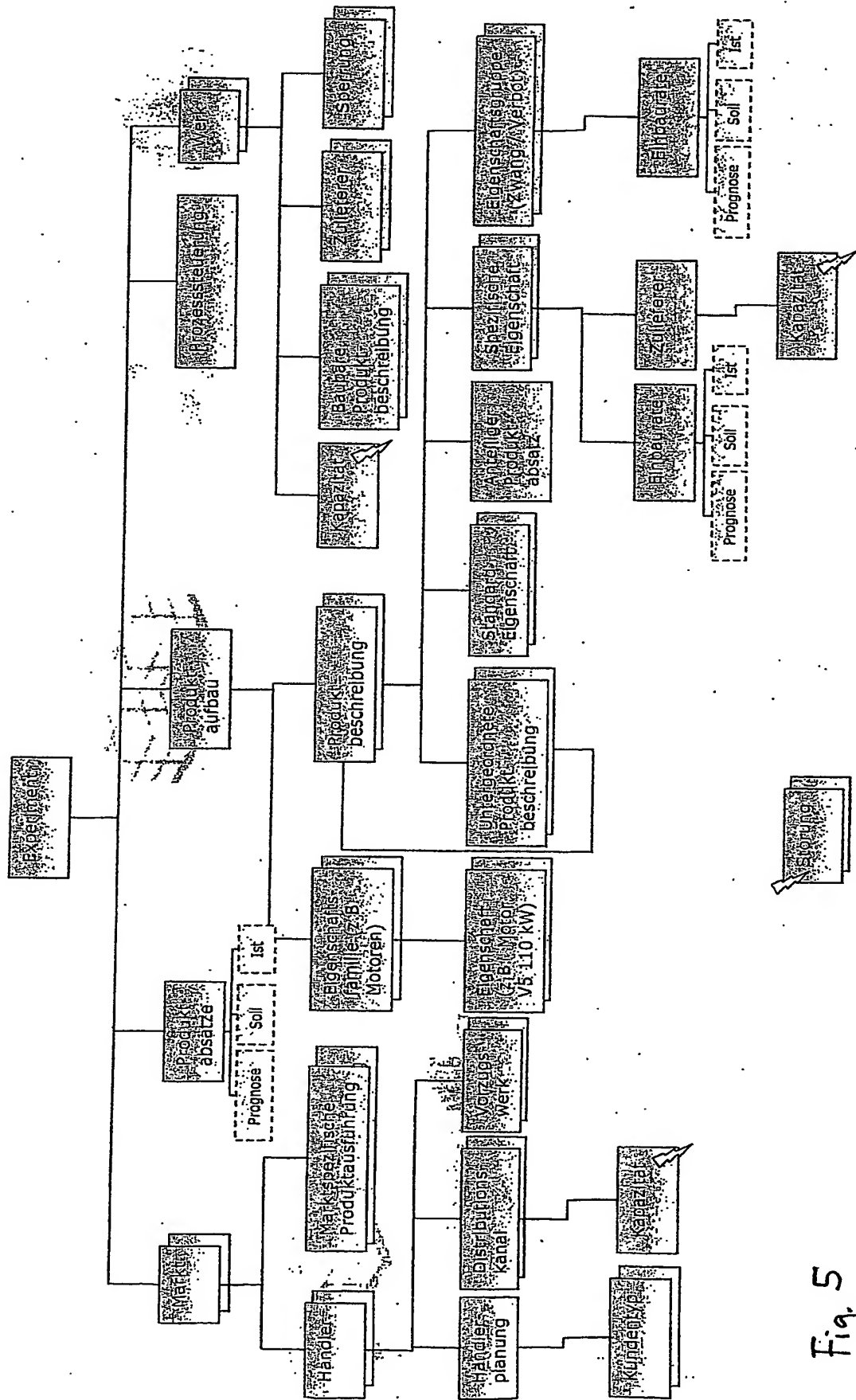


Fig. 5

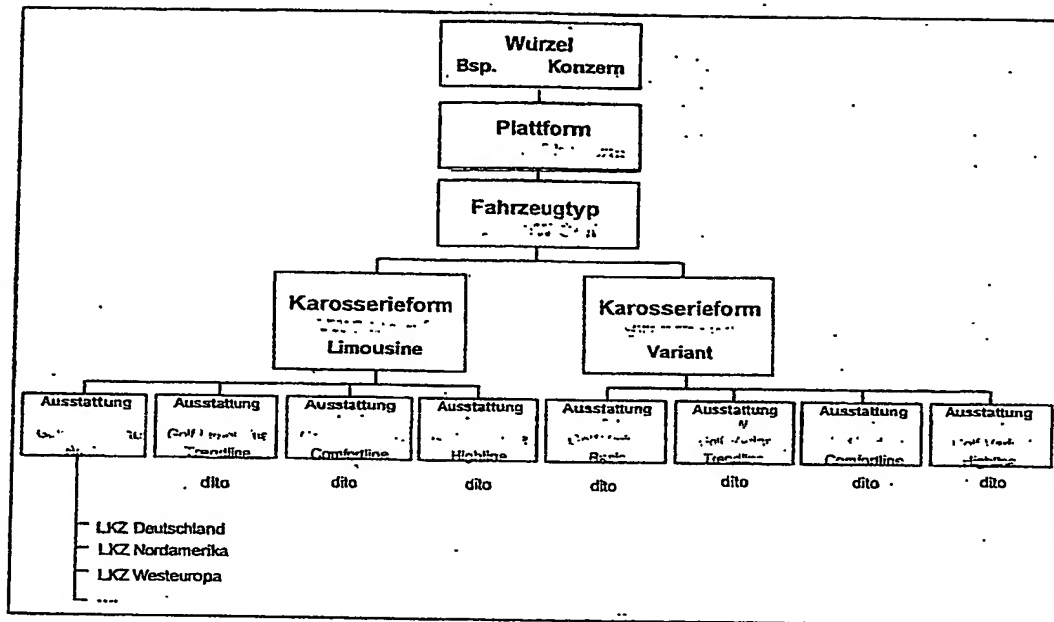


Fig. 6

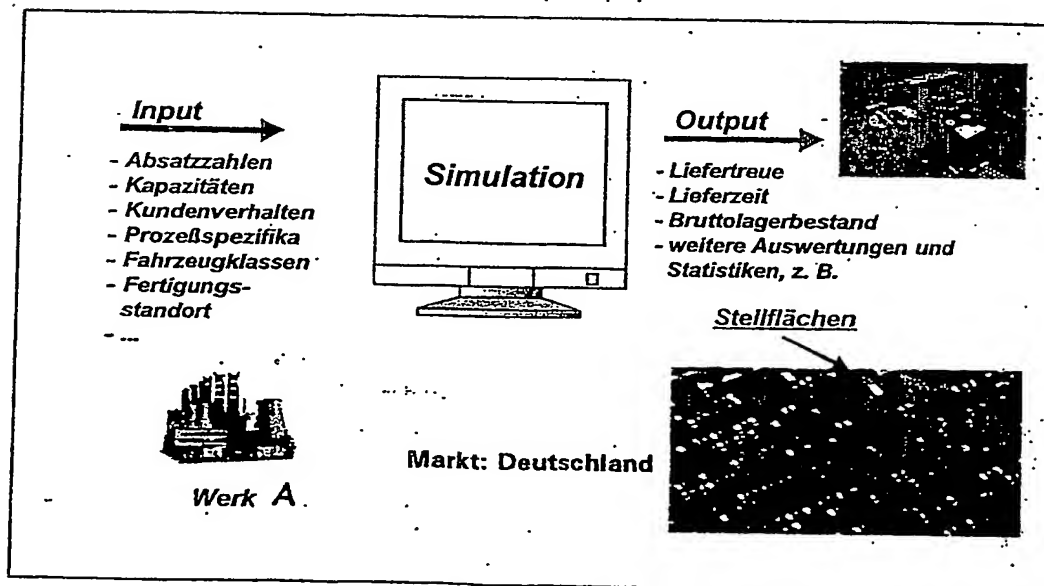


Fig. 7

Fahrzeugtyp X		Fahrzeugtyp Y	
Intervall (Fertigungszeit in Stunden)	Anteil	Intervall (Fertigungszeit in Stunden)	Anteil
0- 70	0%	0- 48	0%
70- 74	10%	48- 50	10%
74- 75	40%	50- 60	40%
75-116	40%	60- 91	40%
116-352	10%	91-149	10%

Figur 8

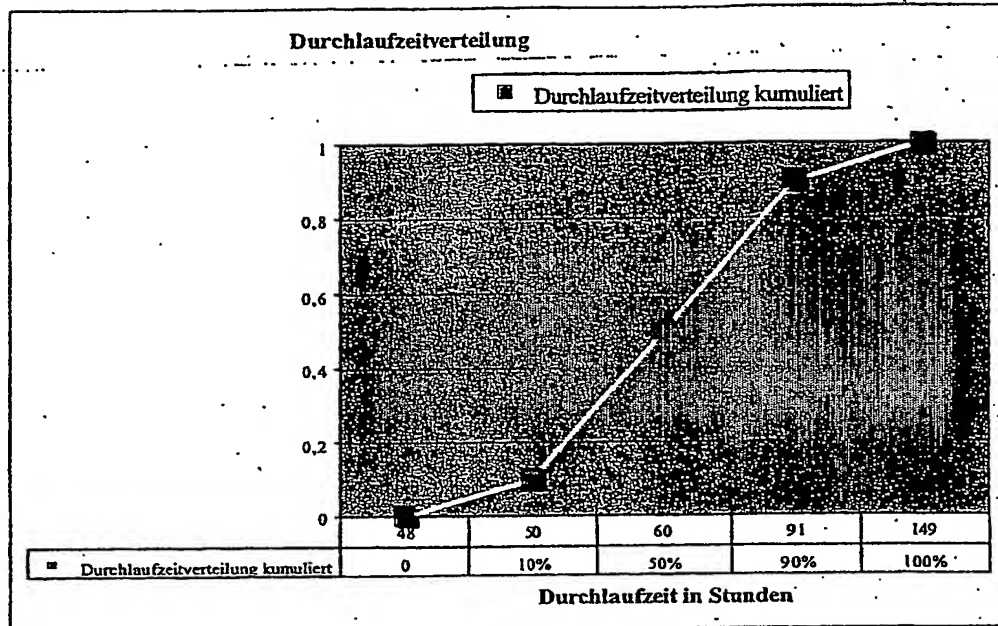


Fig. 9

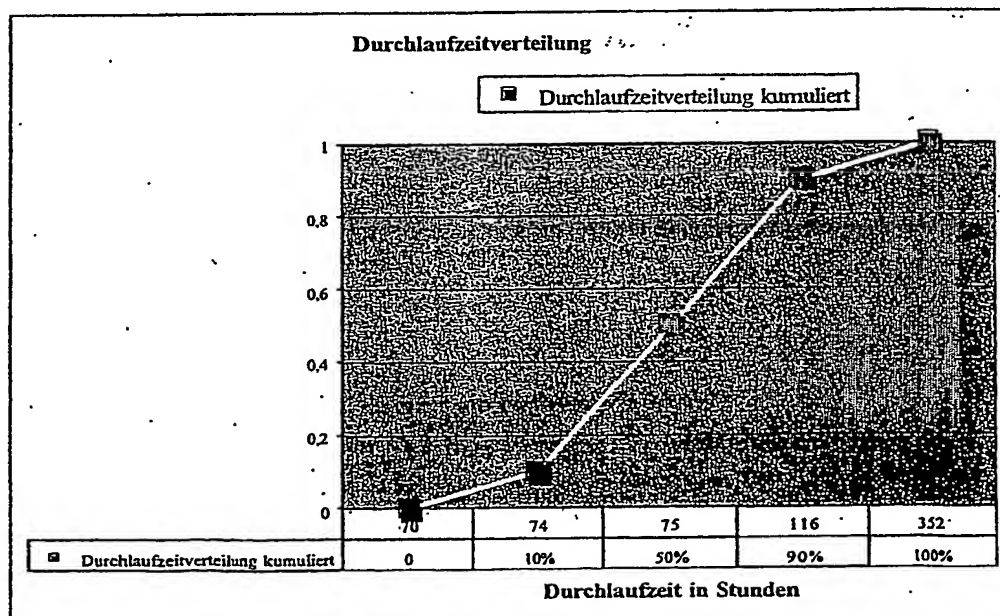


Fig. 10

# Verringerung der Stochastik der Fertigungsdurchlaufzeit

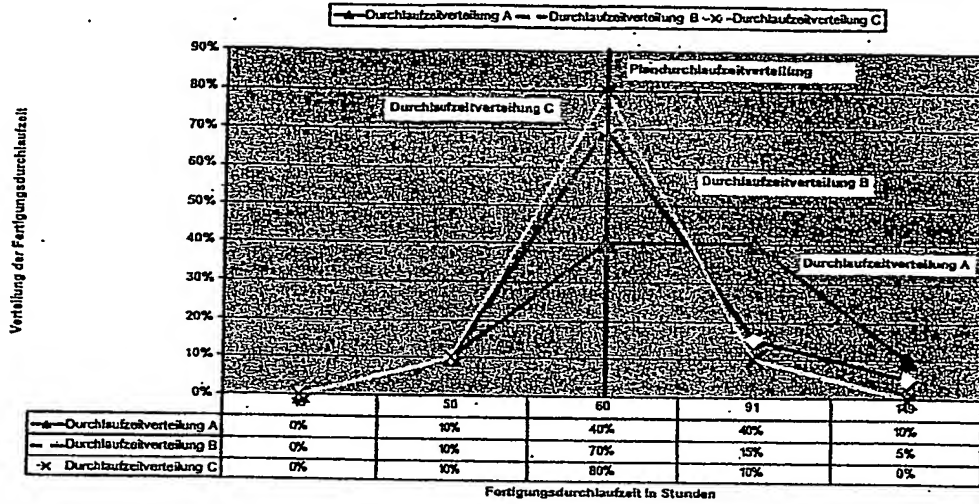


Fig. 11

# Verringerung der Stochastik der Fertigungsdurchlaufzeit

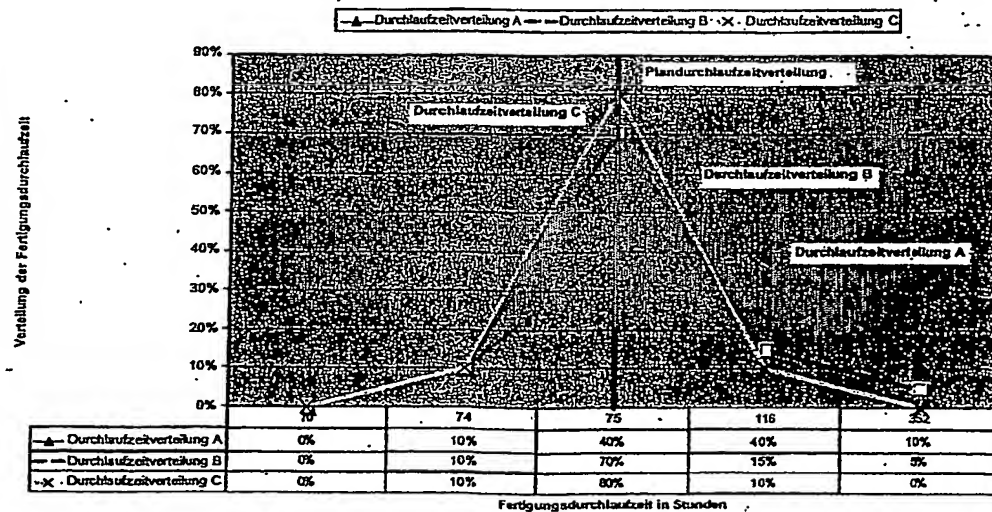


Fig. 12

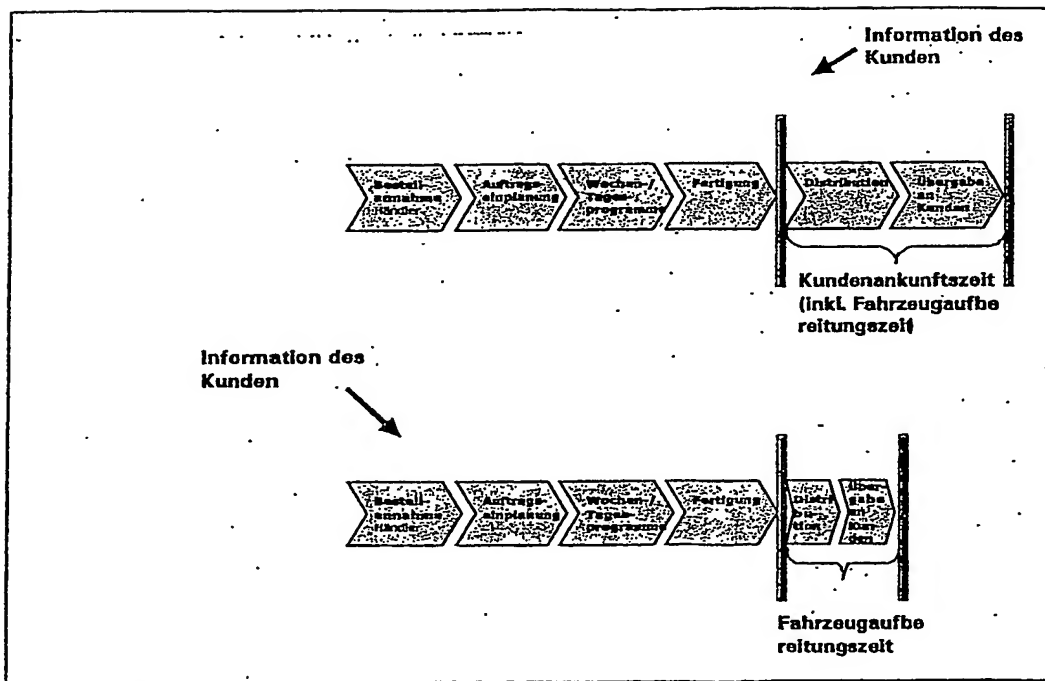


Fig. 13

Stellflächenbedarf Fahrzeugauslieferung über einen Auslieferungspunkt des Herstellers bzw. der Hersteller (Szenario A; Fertigungsdurchlaufzeitverteilung A)		Bedarf an Stellflächen für Fahrzeuge, die über einen Auslieferungspunkt des Herstellers bzw. der Hersteller ausgeliefert werden sollen und im Werk produziert wurden
<b>Ausbaustufe 1:</b> Auslieferung von täglich 300 Fzg.	<b>Max.</b> Durchschnitt <b>Min.</b>	<b>6.216</b> 4.847 3.880
<b>Ausbaustufe 2:</b> Auslieferung von täglich 600 Fzg.	<b>Max.</b> Durchschnitt <b>Min.</b>	<b>12.121</b> 9.620 7.556
<b>Ausbaustufe 3:</b> Auslieferung von täglich 1000 Fzg.	<b>Max.</b> Durchschnitt <b>Min.</b>	<b>19.130</b> 15.389 12.070

Figur 14

DLZ-Verteilung in der Fertigung	Standardabweichung Fahrzeugtyp X	Standardabweichung Fahrzeugtyp Y	ZP8-Treue (gesamt) wochengenau	ZP8-Treue (gesamt) wochengenau inkl. Vorgriff
Verteilung A	60,0 h	22,5 h	68%	76%
Verteilung B	38,0 h	16,0 h	72%	83%
Verteilung C	7,3 h	7,5 h	75%	88%

Figur 15

Stellflächenbedarf Fahrzeugauslieferung über einen Auslieferungspunkt des Herstellers bzw. der Hersteller (Szenario B; Fertigungsdurchlaufzeitverteilung C)		Bedarf an Stellflächen für Fahrzeuge, die über einen Auslieferungspunkt des Herstellers bzw. der Hersteller ausgeliefert werden sollen und im Werk produziert wurden
<b>Ausbaustufe 1:</b> Auslieferung von täglich 300 Fzg.	<b>Max.</b>	<b>1.360</b>
	Durchschnitt	1.061
	Min.	789
<b>Ausbaustufe 2:</b> Auslieferung von täglich 600 Fzg.	<b>Max.</b>	<b>2.551</b>
	Durchschnitt	2.026
	Min.	1.277
<b>Ausbaustufe 3:</b> Auslieferung von täglich 1000 Fzg.	<b>Max.</b>	<b>3.940</b>
	Durchschnitt	3.203
	Min.	1.570

Figur 16

Stellflächenbedarf Fahrzeugauslieferung über einen Auslieferungspunkt des Herstellers bzw. der Hersteller bei Übergang von Szenario A zu Szenario B		Einsparung von an Stellflächen bezogen auf Fahrzeuge, die über einen Auslieferungspunkt des Herstellers bzw. der Hersteller ausgeliefert werden und im Werk produziert wurden
<b>Ausbaustufe 1:</b> Auslieferung von täglich 300 Fzg.	<b>Max.</b>	<b>4.856</b>
	Durchschnitt	3.831
	Min.	3.091
<b>Ausbaustufe 2:</b> Auslieferung von täglich 600 Fzg.	<b>Max.</b>	<b>9.570</b>
	Durchschnitt	7.594
	Min.	3.880
<b>Ausbaustufe 3:</b> Auslieferung von täglich 1000 Fzg.	<b>Max.</b>	<b>15.190</b>
	Durchschnitt	12.186
	Min.	10.500

Figur 17

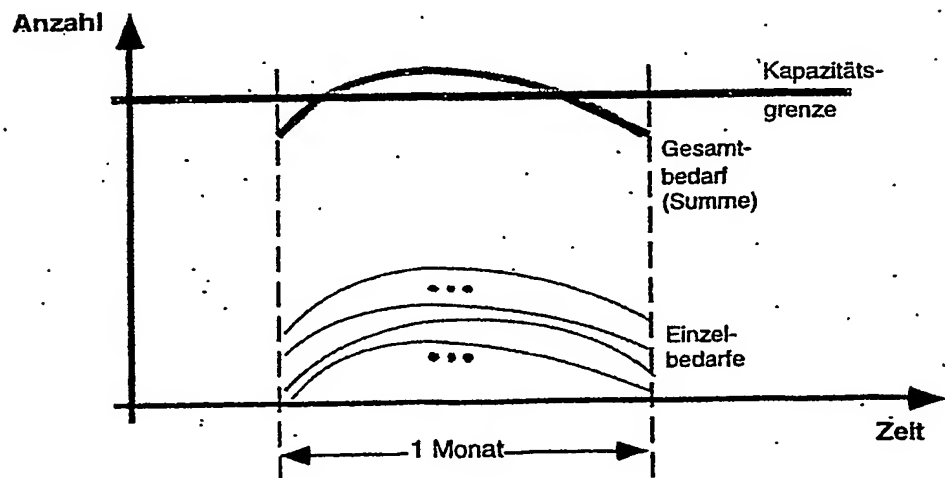
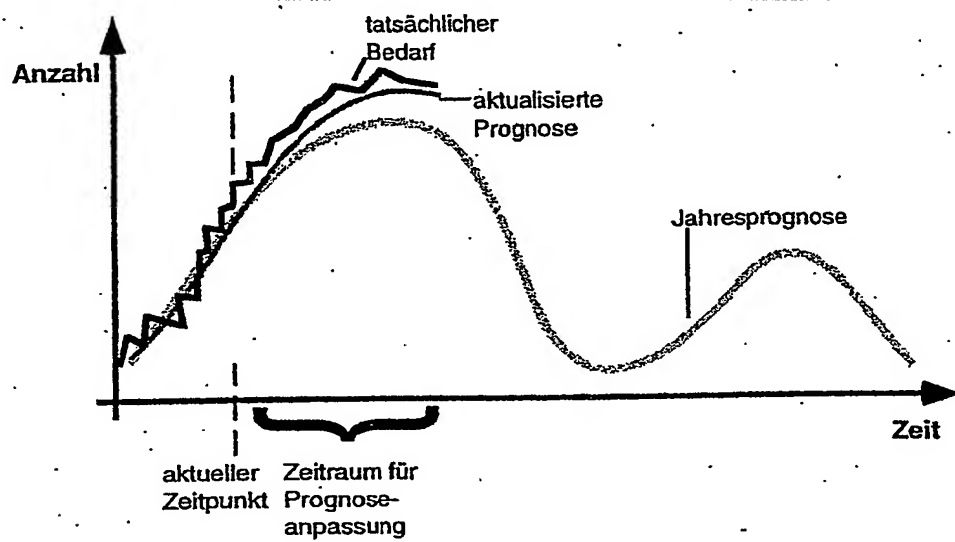
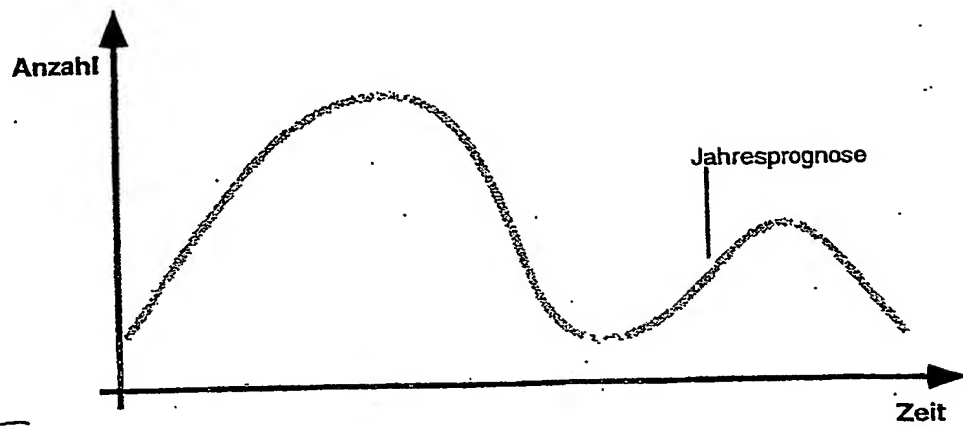


Ausbaustufen der Auslieferung von Fahrzeugen aus einem Auslieferungspunkt des Herstellers bzw. der Hersteller	Reduktion des durchschnittlichen Stellflächenbedarfs bei der Substitution von Szenario A; Fertigungsdurchlaufzeitverteilung A durch Szenario B; Fertigungsdurchlaufzeitverteilung C (im Werk A gefertigte Fahrzeuge)	In der Simulation ausgewiesene Einsparung von Kapitalbindungskosten pro Jahr (Potentiale sind zu verifizieren):
<b>Ausbaustufe 1:</b> Auslieferung von täglich 300 Fzg.	3.831	9,8 Mio €
<b>Ausbaustufe 2:</b> Auslieferung von täglich 600 Fzg.	7.59	19,4 Mio €
<b>Ausbaustufe 3:</b> Auslieferung von täglich 1000 Fzg.	15.38	39,2 Mio€

Figur 18

Ausbaustufen der Auslieferung von Fahrzeugen aus einem Auslieferungspunkt des Herstellers bzw. der Hersteller	Verkürzung der durchschnittlichen Versandzeit bei der Substitution von Szenario A; Fertigungsdurchlaufzeitverteilung A durch Szenario B; Fertigungsdurchlaufzeitverteilung C:	In der Simulation ausgewiesene Einsparung von Kapitalbindungskosten pro Fzg. (Potentiale sind zu verifizieren):
<b>Ausbaustufe 1:</b> Auslieferung von täglich 300 Fzg.	10,08 Tag	72,4 €
<b>Ausbaustufe 2:</b> Auslieferung von täglich 600 Fzg.	10,51 Tag	74,4 €
<b>Ausbaustufe 3:</b> Auslieferung von täglich 1000 Fzg.	10,91 Tag	77,2 €

Figur 19



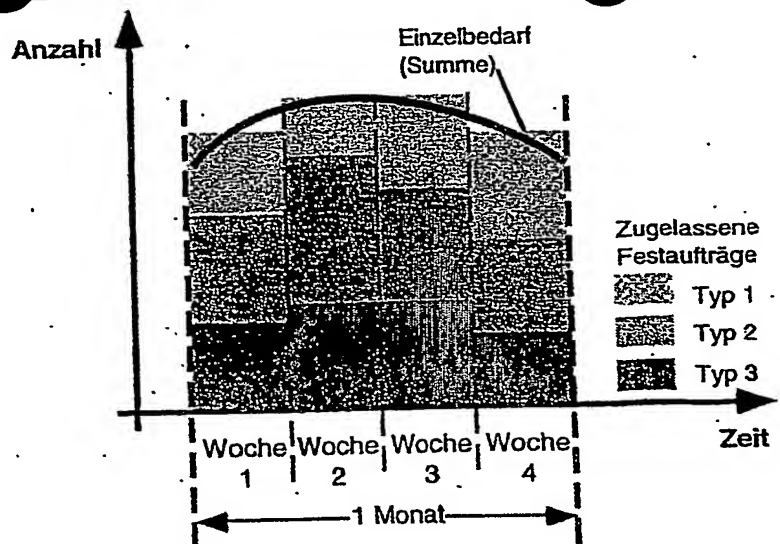


Fig. 23

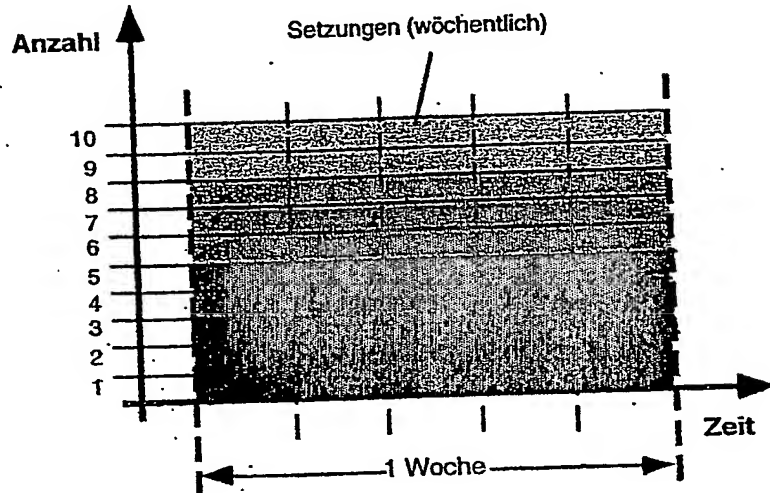


Fig. 24

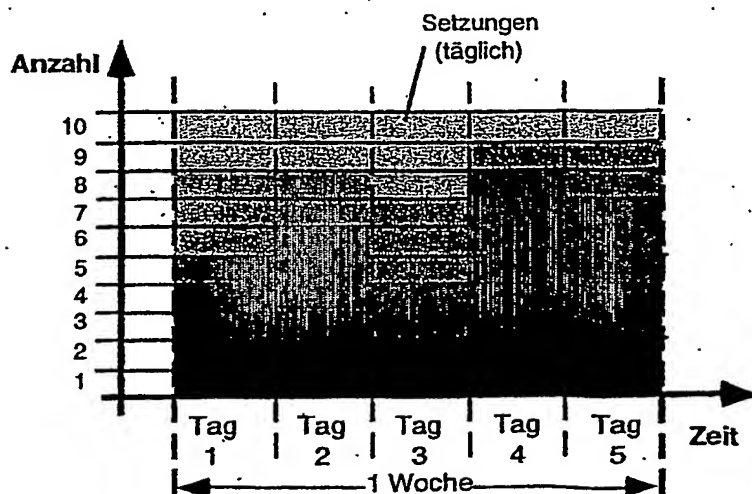


Fig. 25



Motoren		Getriebe		Klimaanlage	
1,4 l 55 kW	MN7	4-Gang Getriebe	Automatik	Heizung mit mech. Regelung	9,
1,6 l 75 kW	MW6	5-Gang Schaltgetriebe	GOC	manuelle Klimaanlage	9,
1,8 l 110 kW					
1,9 l					
2,0 l 85 kW	MR4				

Fig. 27a

Radio	Farben		Verdeck	
Radio Alpha	8AB	Alaska Green	V7V7	Manuelles Verdeck
Radio Gamma	8A0	Beige		Elektrisches Verdeck
Kein Radio	8AA	Black	A1A1	
		Campanellaweiss	R6R6	
		Clementine2	T1T1	
		Cybergreen metallic	L9L9	
		Hellgrau Solid 2		
		Red	P2P2	
		Reflexsilber metallic	8E8E	
		Royal Navy	7W7W	
		Speed Blue	V8V8	
		Yukon Yellow		

Fig. 27b

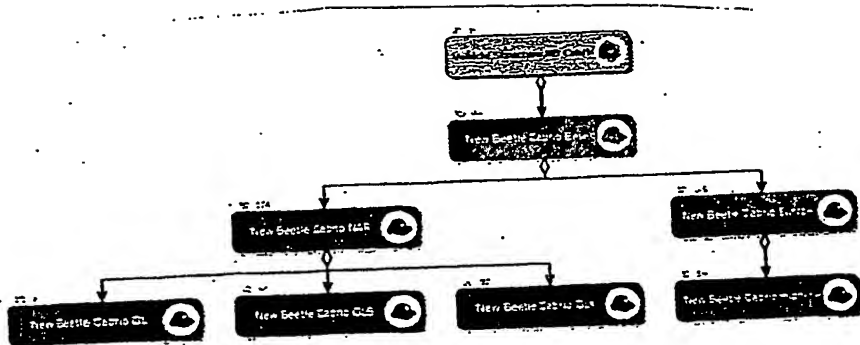


Fig. 28

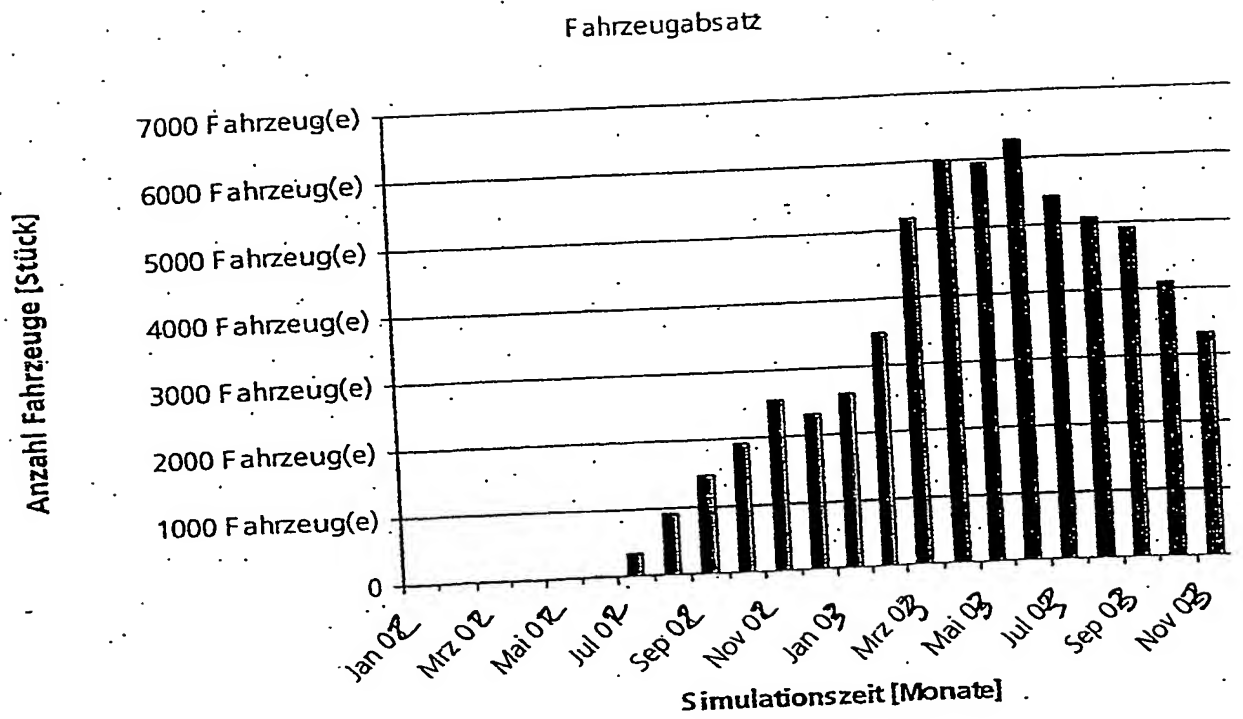


Fig. 29

Fahrzeugabsatz	
Jan 01	0
Feb 01	0
Mrz 01	0
Apr 01	0
Mai 01	0
Jun 01	10 Fahrzeug(e)
Jul 01	335 Fahrzeug(e)
Aug 01	915 Fahrzeug(e)
Sep 01	1470 Fahrzeug(e)
Okt 01	1922 Fahrzeug(e)
Nov 01	2553 Fahrzeug(e)
Dez 01	2325 Fahrzeug(e)
Jan 02	2609 Fahrzeug(e)
Feb 02	3487 Fahrzeug(e)
Mrz 02	5169 Fahrzeug(e)
Apr 02	6004 Fahrzeug(e)
Mai 02	5952 Fahrzeug(e)
Jun 02	6271 Fahrzeug(e)
Jul 02	5414 Fahrzeug(e)
Aug 02	5084 Fahrzeug(e)
Sep 02	4915 Fahrzeug(e)
Okt 02	4093 Fahrzeug(e)
Nov 02	3328 Fahrzeug(e)
Dez 02	3459 Fahrzeug(e)

Fig. 30



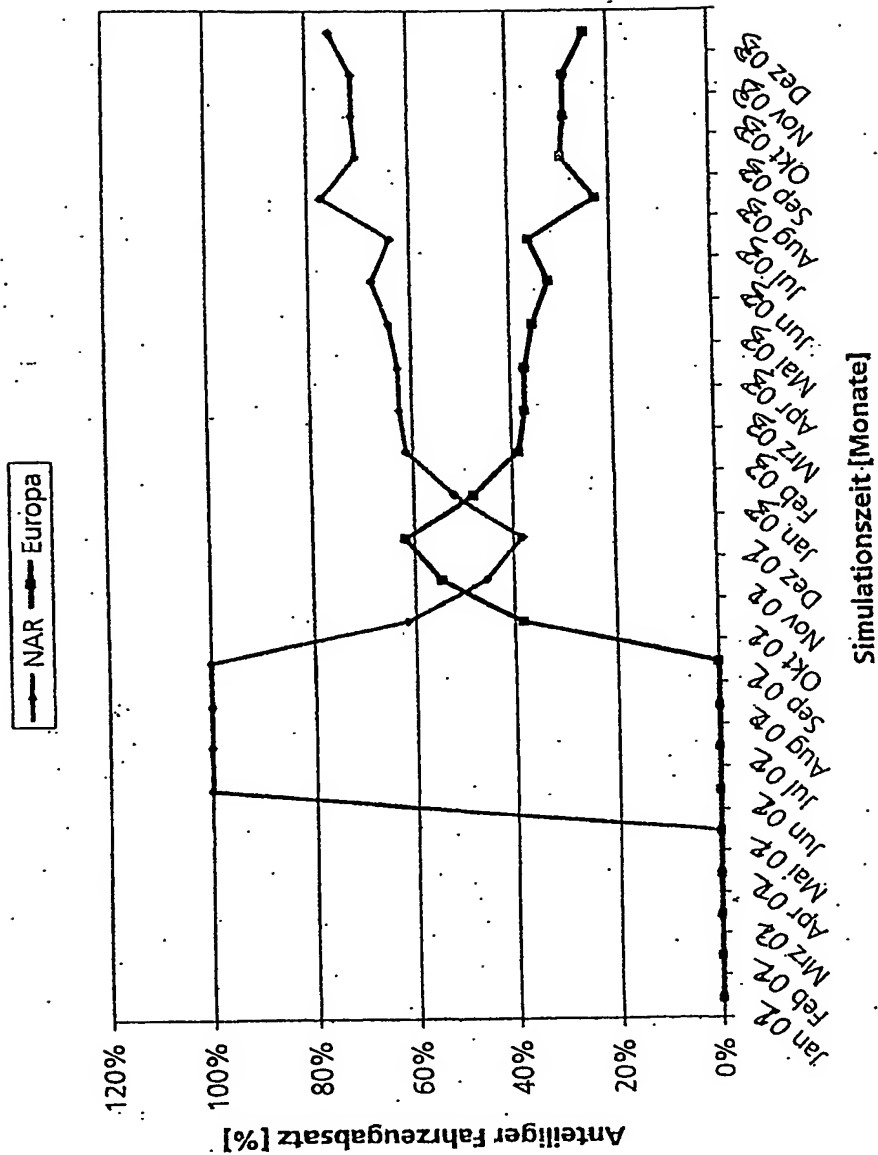


Fig. 31a

	NAR	Europa
Jan 01	0,00%	0,00%
Feb 01	0,00%	0,00%
Mrz 01	0,00%	0,00%
Apr 01	0,00%	0,00%
Mai 01	0,00%	0,00%

Jun 01	100,00%	0,00%
Jul 01	100,00%	0,00%
Aug 01	100,00%	0,00%
Sep 01	100,00%	0,00%
Okt 01	61,55%	38,45%
Nov 01	45,36%	54,64%
Dez 01	38,24%	61,76%
Jan 02	52,01%	47,99%
Feb 02	61,28%	38,72%
Mrz 02	62,55%	37,45%
Apr 02	62,69%	37,31%
Mai 02	64,38%	35,62%
Jun 02	67,79%	32,21%
Jul 02	63,87%	36,13%
Aug 02	77,34%	22,66%
Sep 02	70,56%	29,44%
Okt 02	71,27%	28,73%
Nov 02	71,24%	28,76%
Dez 02	75,51%	24,49%

Fig. 31b

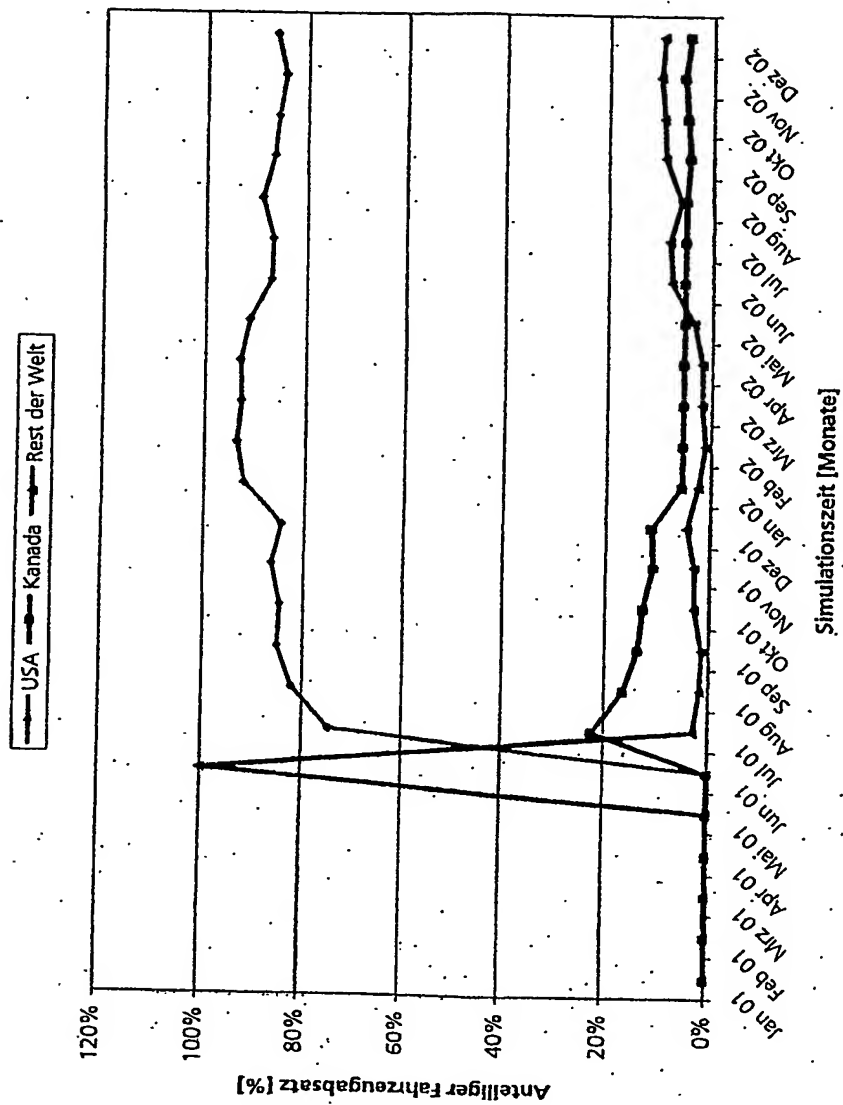


Fig. 32a

	USA	Kanada	Rest der Welt
Jan 01	0,00%	0,00%	0,00%
Feb 01	0,00%	0,00%	0,00%
Mrz 01	0,00%	0,00%	0,00%
Apr 01	0,00%	0,00%	0,00%
Mai 01	0,00%	0,00%	0,00%
Jun 01	0,00%	0,00%	100,00%
Jul 01	74,63%	22,39%	2,99%
Aug 01	81,97%	16,39%	1,64%
Sep 01	85,03%	13,61%	1,36%
Okt 01	84,53%	12,68%	2,79%
Nov 01	86,36%	10,79%	2,85%
Dez 01	84,36%	11,25%	4,39%
Jan 02	92,11%	5,53%	2,36%
Feb 02	93,59%	5,38%	1,03%
Mrz 02	92,79%	5,41%	1,79%
Apr 02	92,99%	5,31%	1,70%
Mai 02	91,34%	5,22%	3,44%
Jun 02	87,04%	5,29%	7,67%
Jul 02	86,76%	5,06%	8,18%
Aug 02	89,01%	5,09%	5,90%
Sep 02	86,51%	4,33%	9,17%
Okt 02	85,70%	4,80%	9,50%
Nov 02	84,35%	5,48%	10,16%
Dez 02	86,14%	4,40%	9,46%

Fig. 32b

Freie Tage			
01.Jan.2002 KW 1	05.Mai.2001 KW 18	20.Jul.2001 KW 29	24.Dez.2001 KW 52
25.Mrz.2002 KW 13	10.Mai.2001 KW 19	15.Sep.2001 KW 37	25.Dez.2001 KW 52
26.Mrz.2001 KW 13	11.Mai.2001 KW 19	16.Sep.2001 KW 37	26.Dez.2001 KW 52
27.Mrz.2001 KW 13	15.Jul.2001 KW 28	28.Sep.2001 KW 39	27.Dez.2001 KW 52
28.Mrz.2001 KW 13	16.Jul.2001 KW 29	01.Nov.2001 KW 44	28.Dez.2001 KW 52
29.Mrz.2001 KW 13	17.Jul.2001 KW 29	02.Nov.2001 KW 44	29.Dez.2001 KW 52
30.Mrz.2001 KW 13	18.Jul.2001 KW 29	12.Dez.2001 KW 50	30.Dez.2001 KW 52
01.Mai.2001 KW 18	19.Jul.2001 KW 29	23.Dez.2001 KW 51	31.Dez.2001 KW 53

Fig. 33

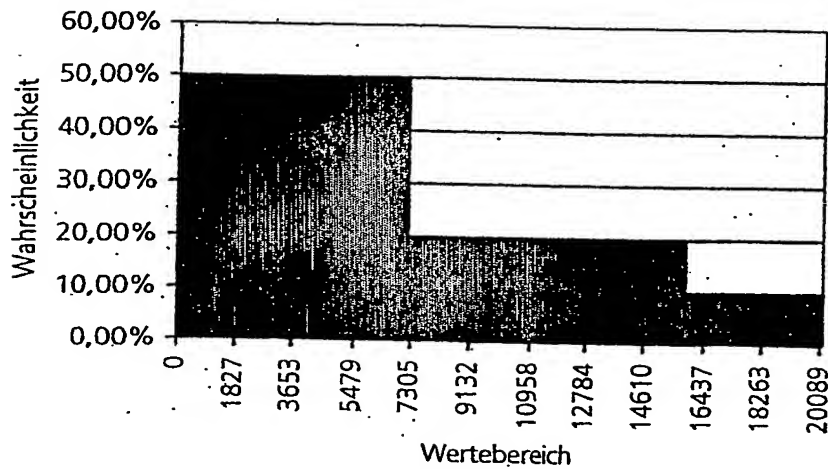


Fig. 34

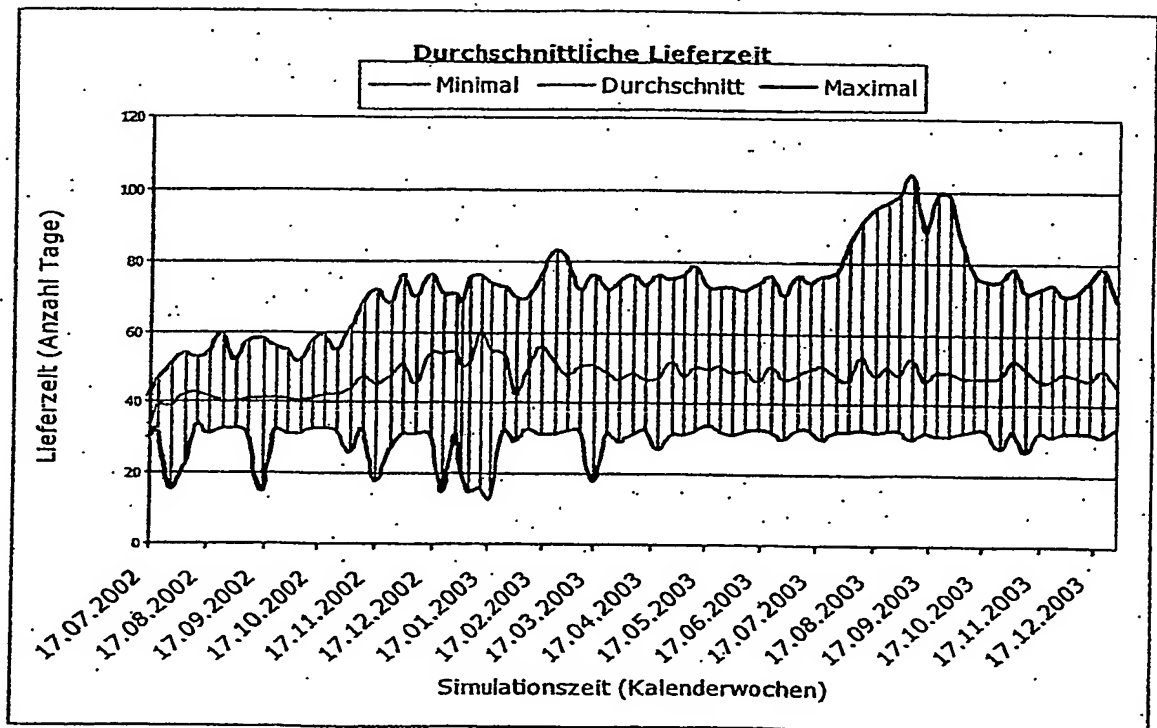


Fig. 35

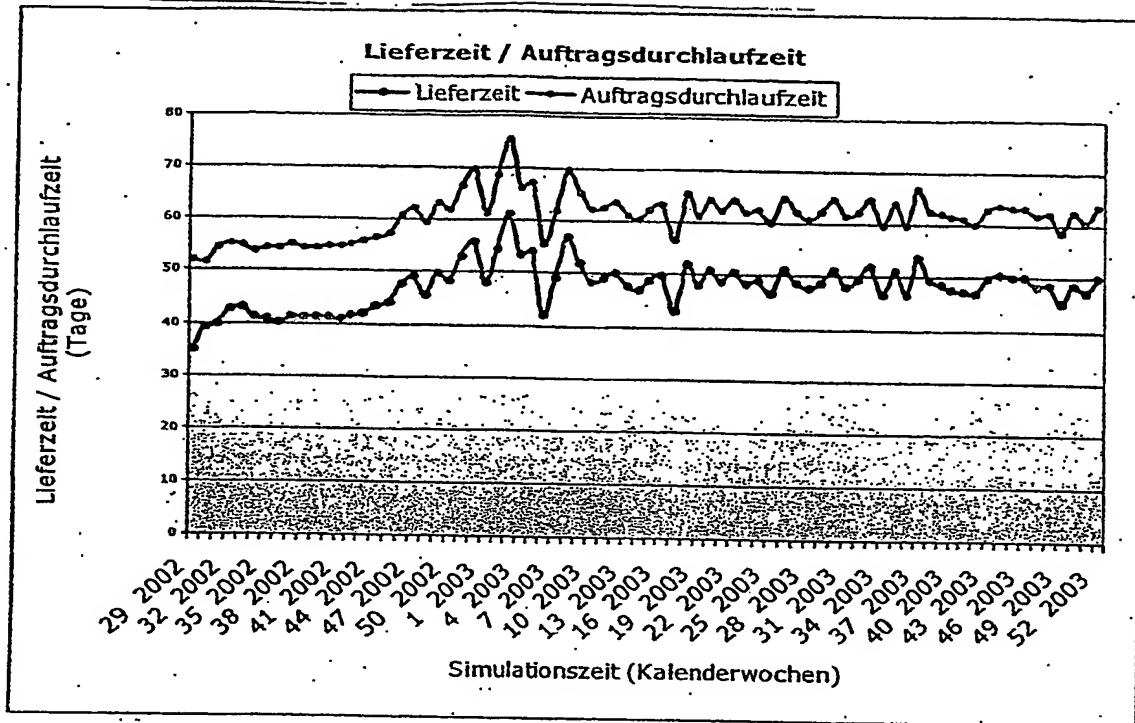


Fig. 36

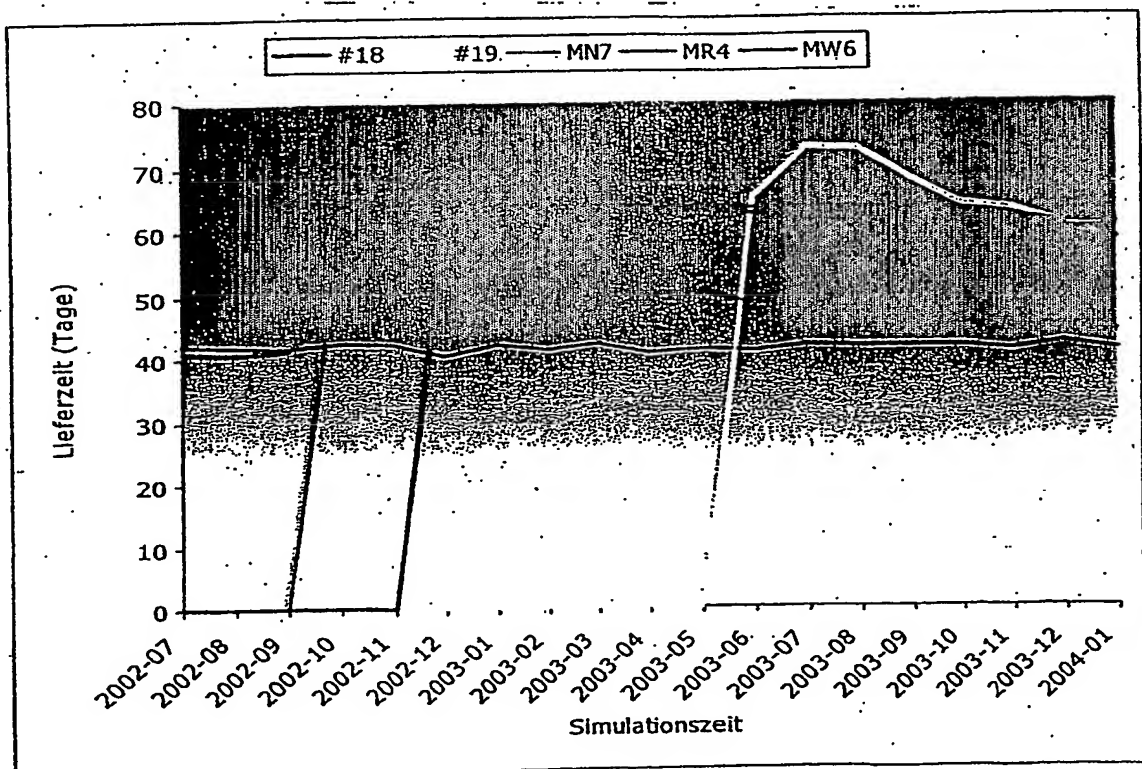


Fig. 37

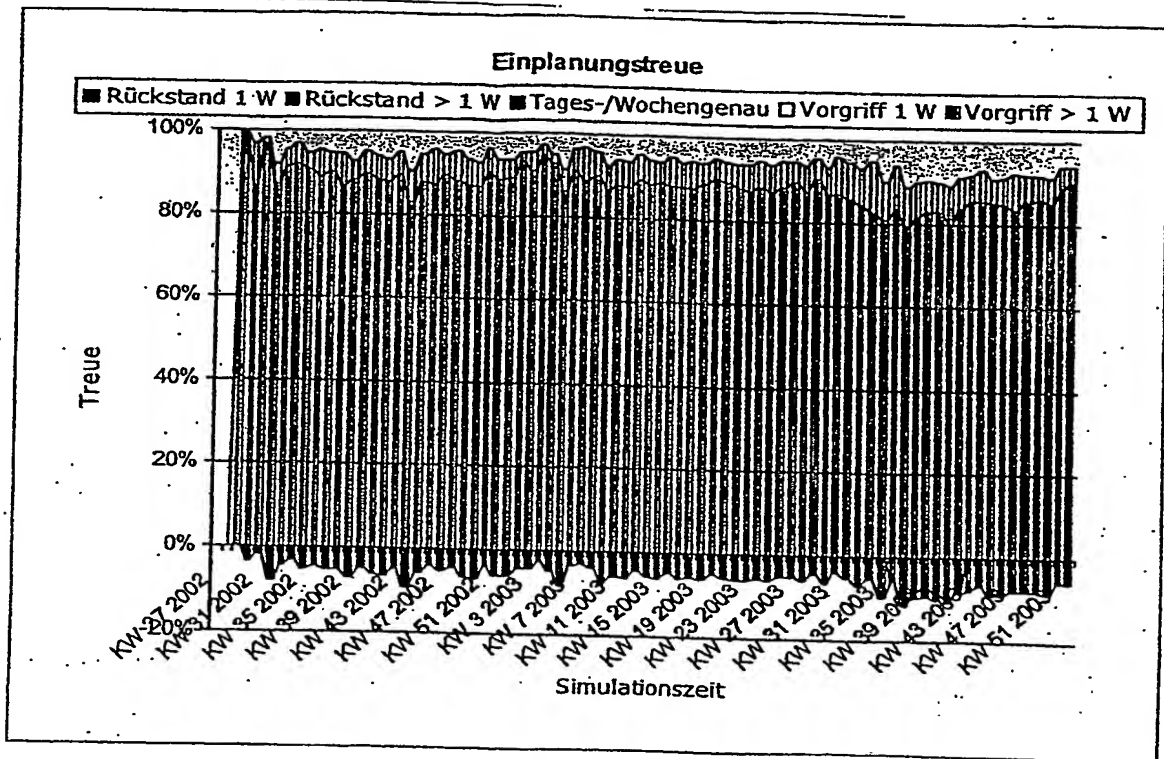


Fig. 38

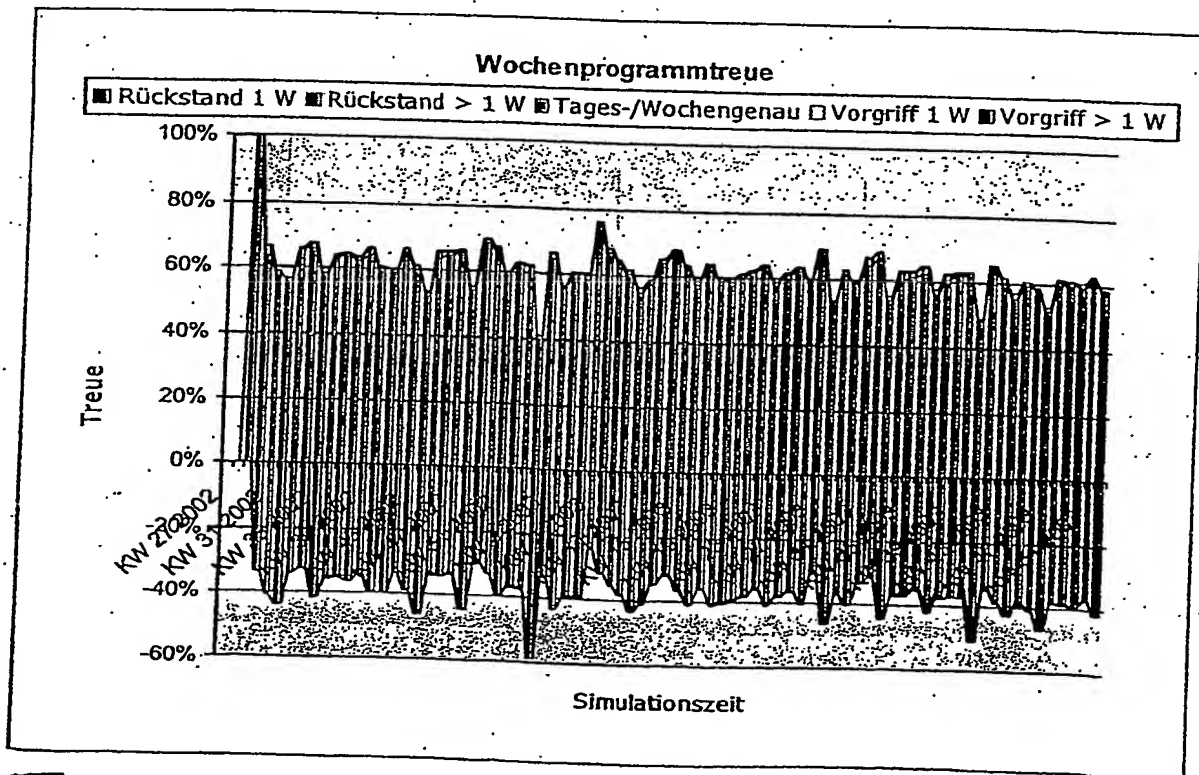


Fig. 39

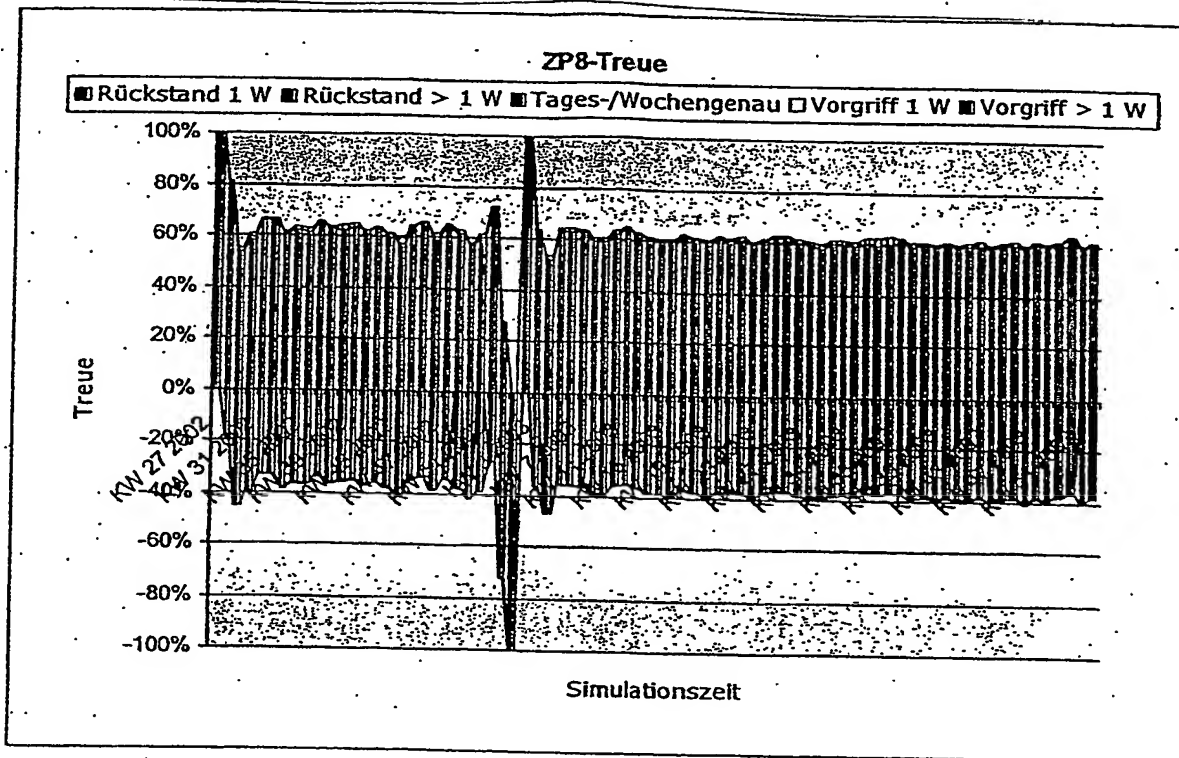


Fig. 40

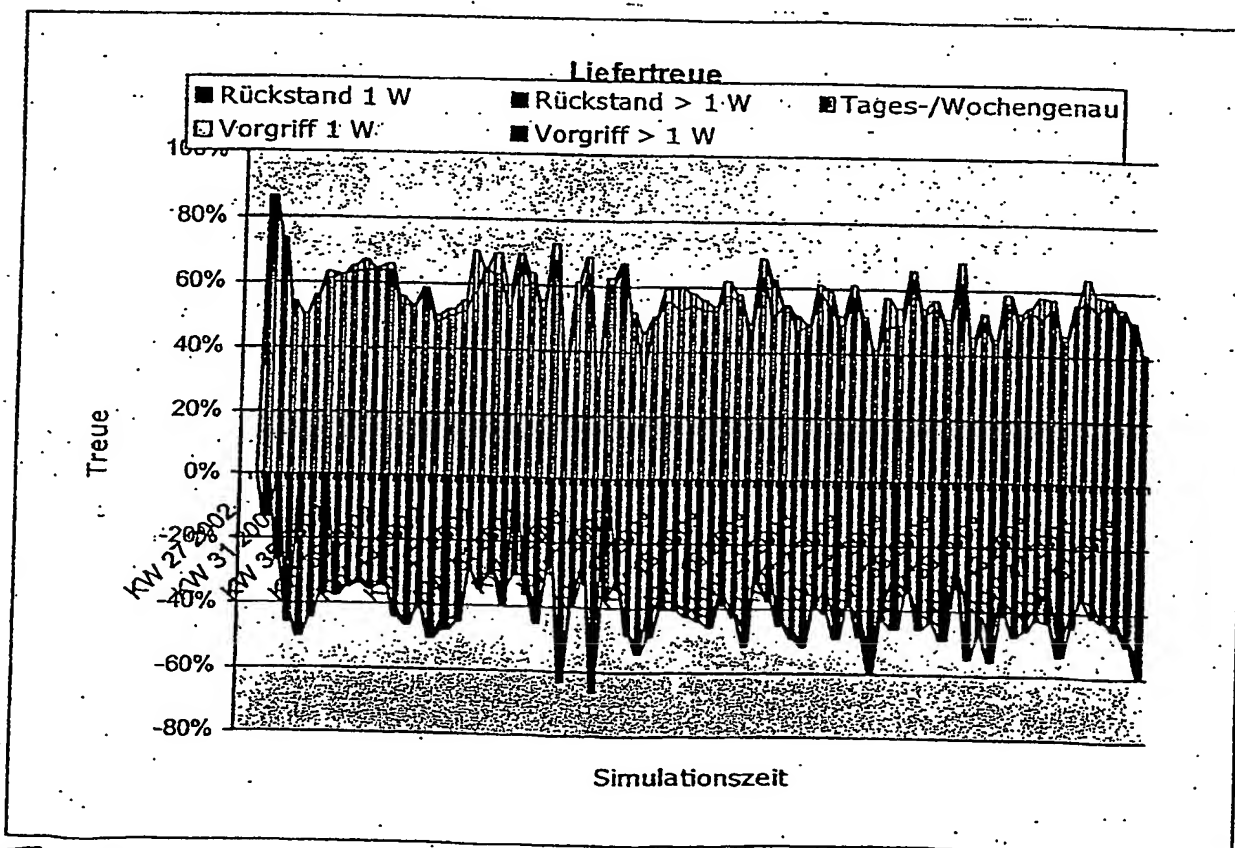


Fig. 41



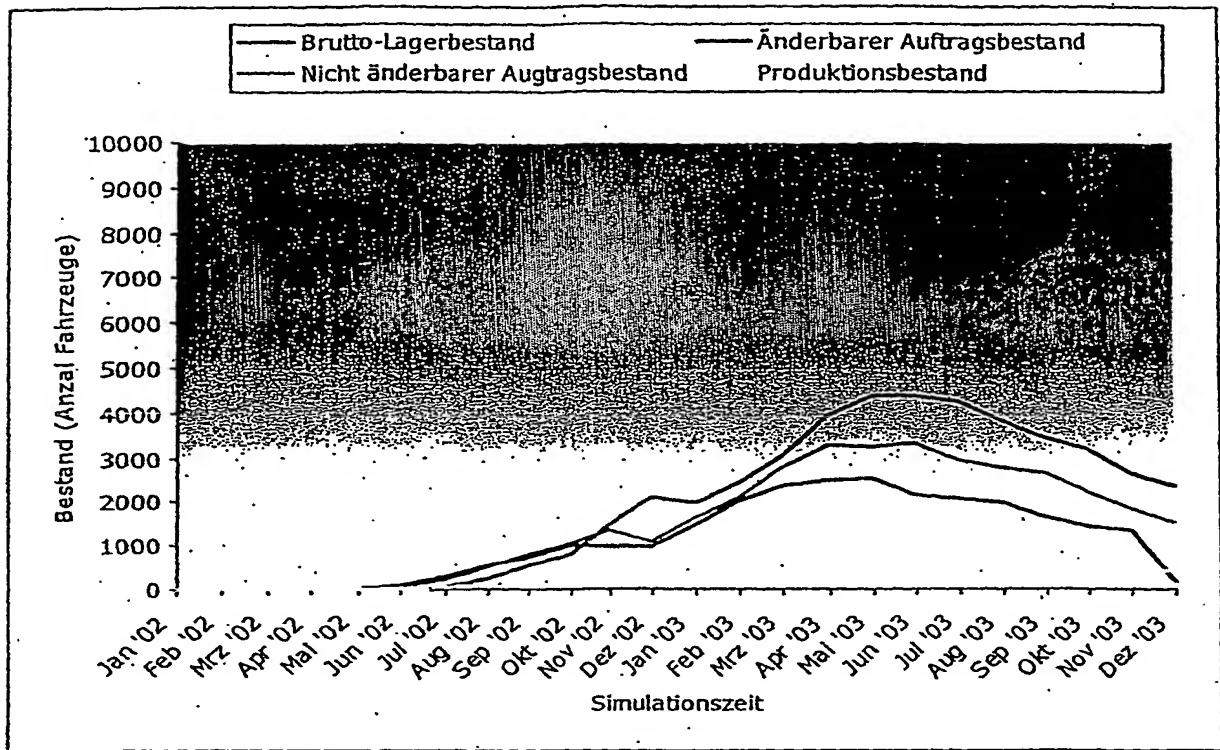


Fig. 42

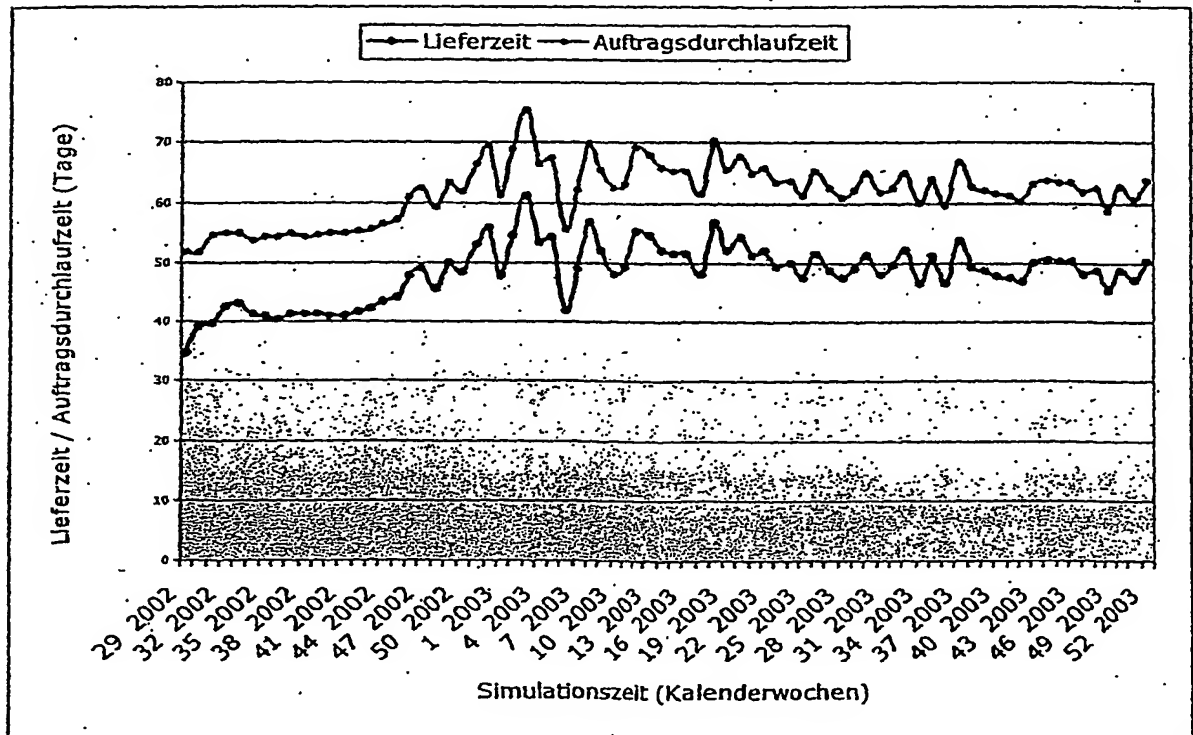
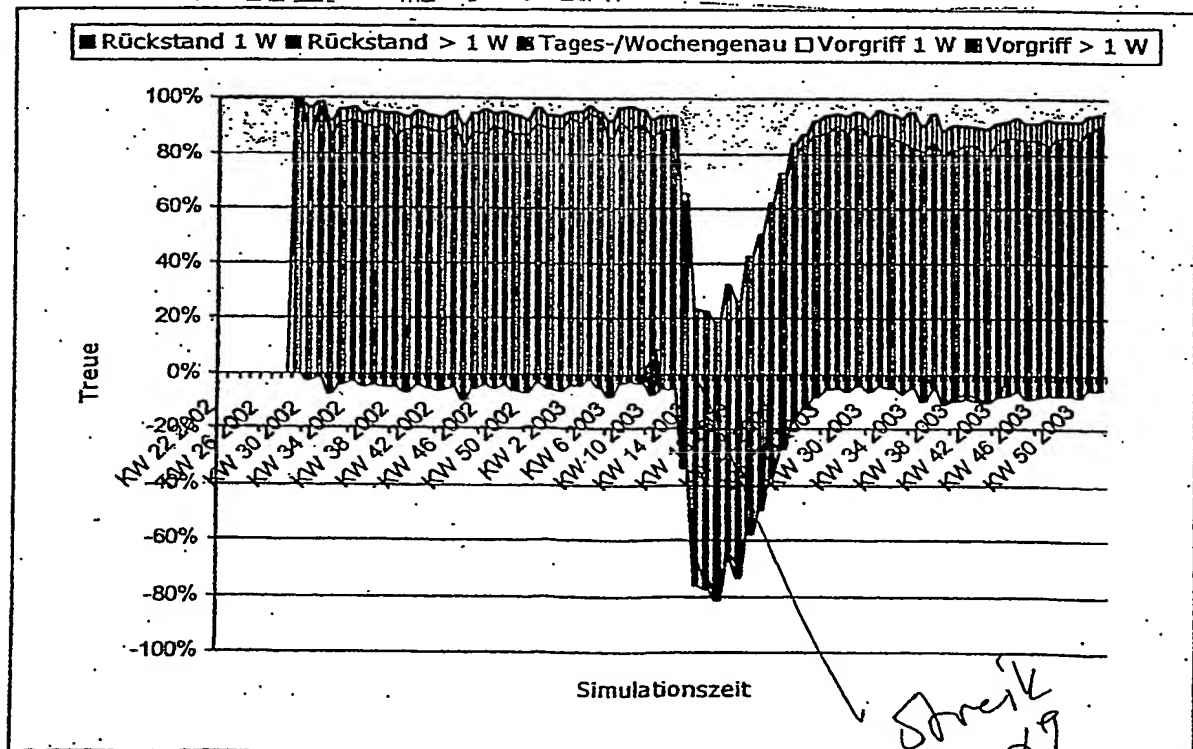
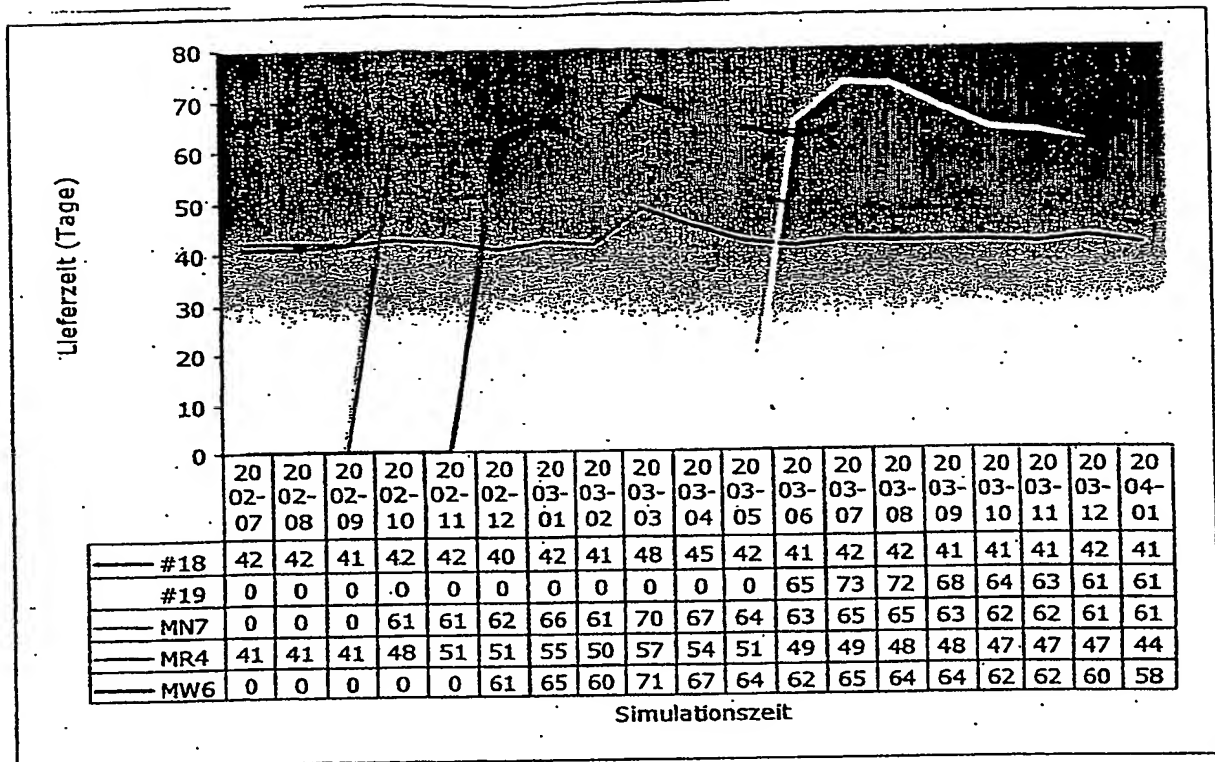


Fig. 43



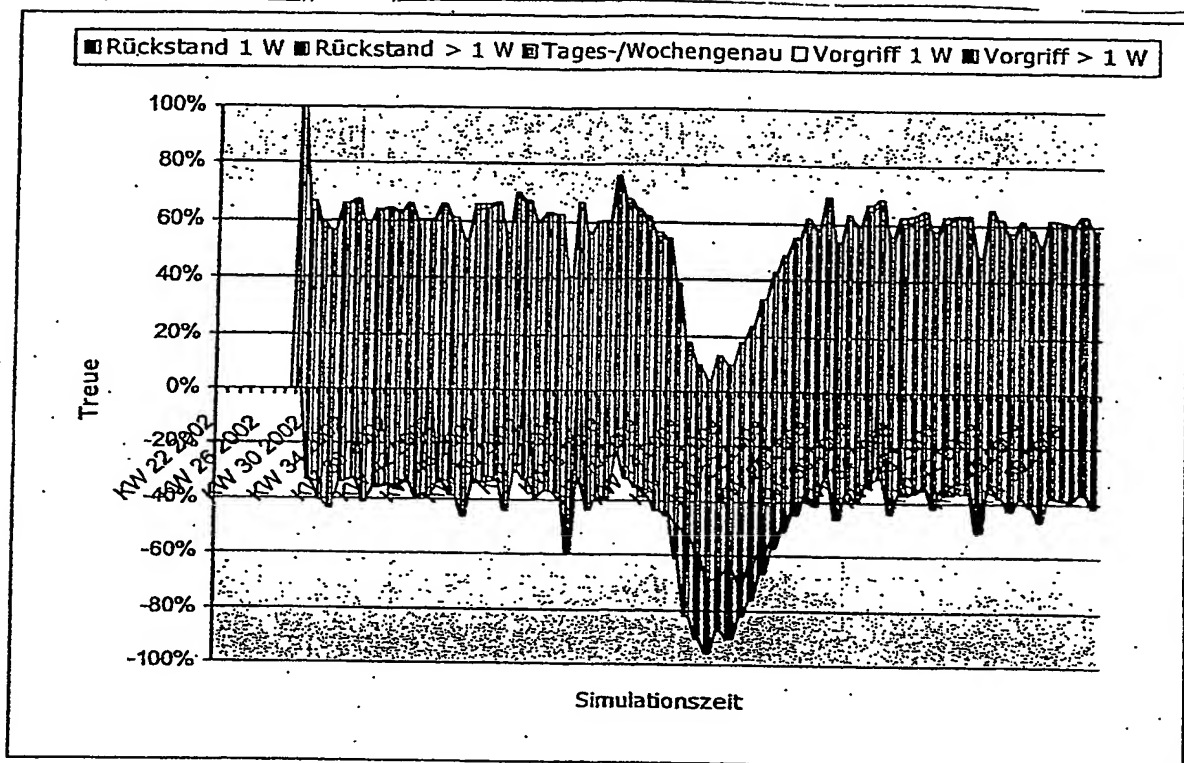


Fig. 46

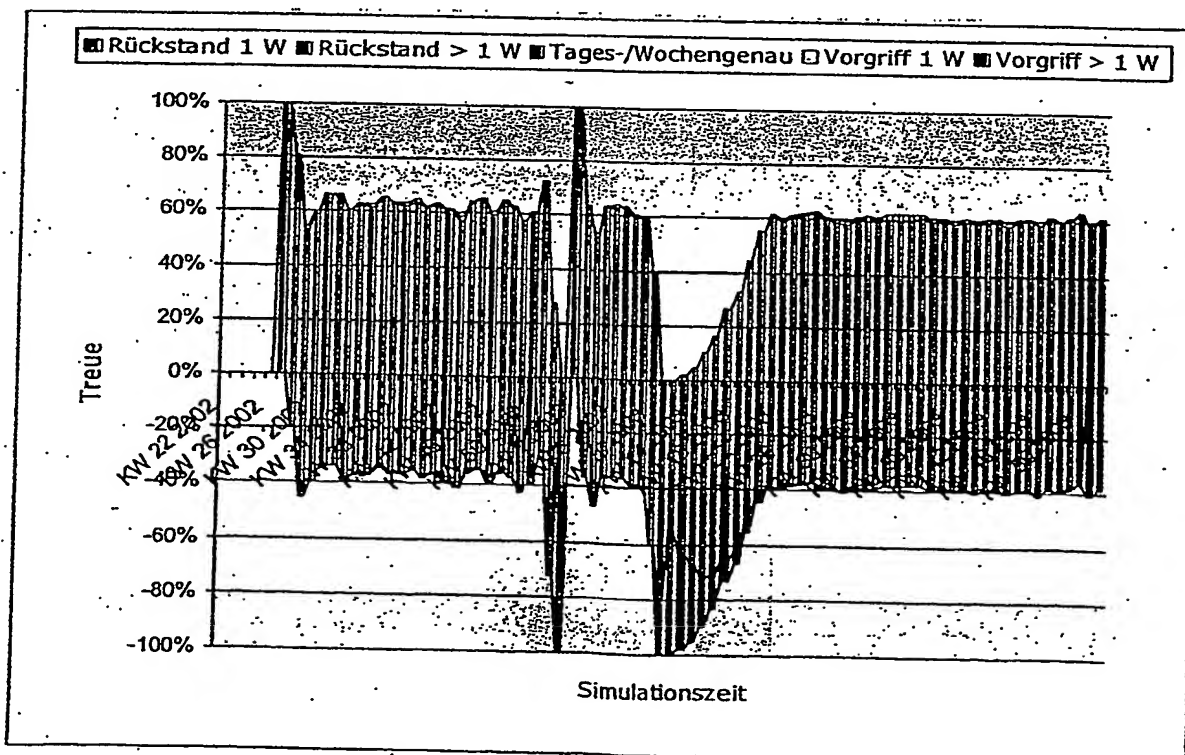


Fig. 47

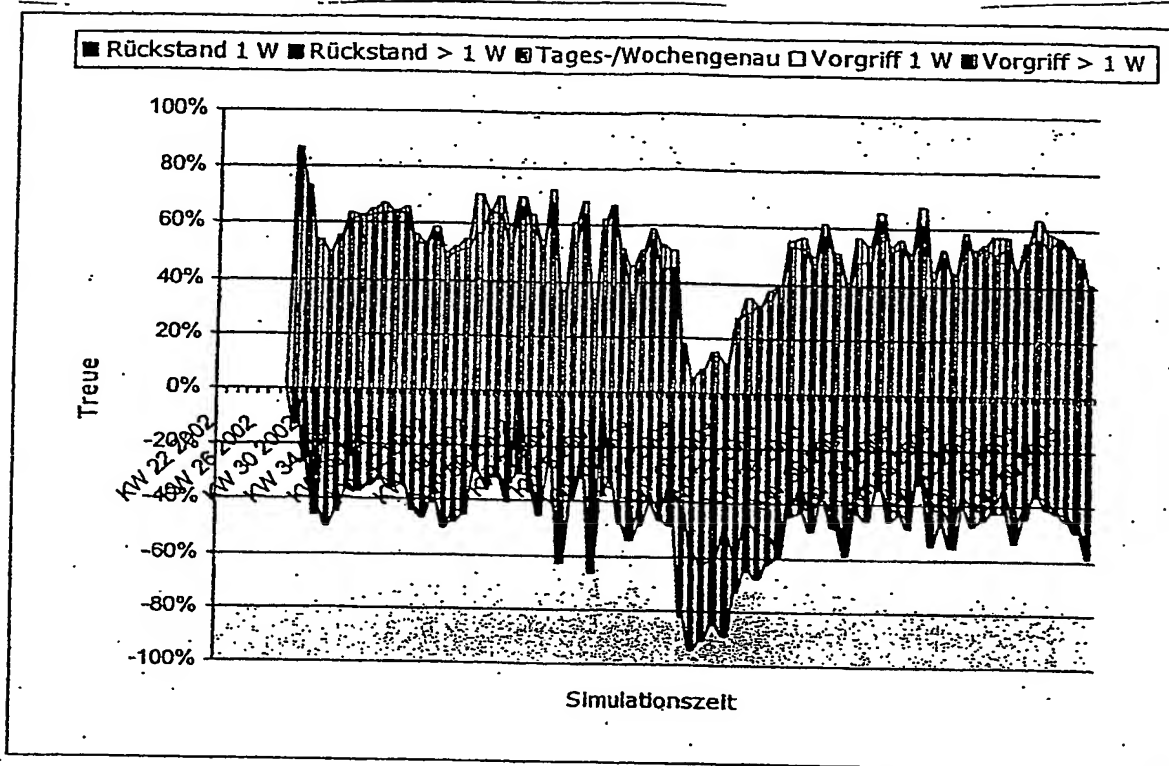


Fig. 48

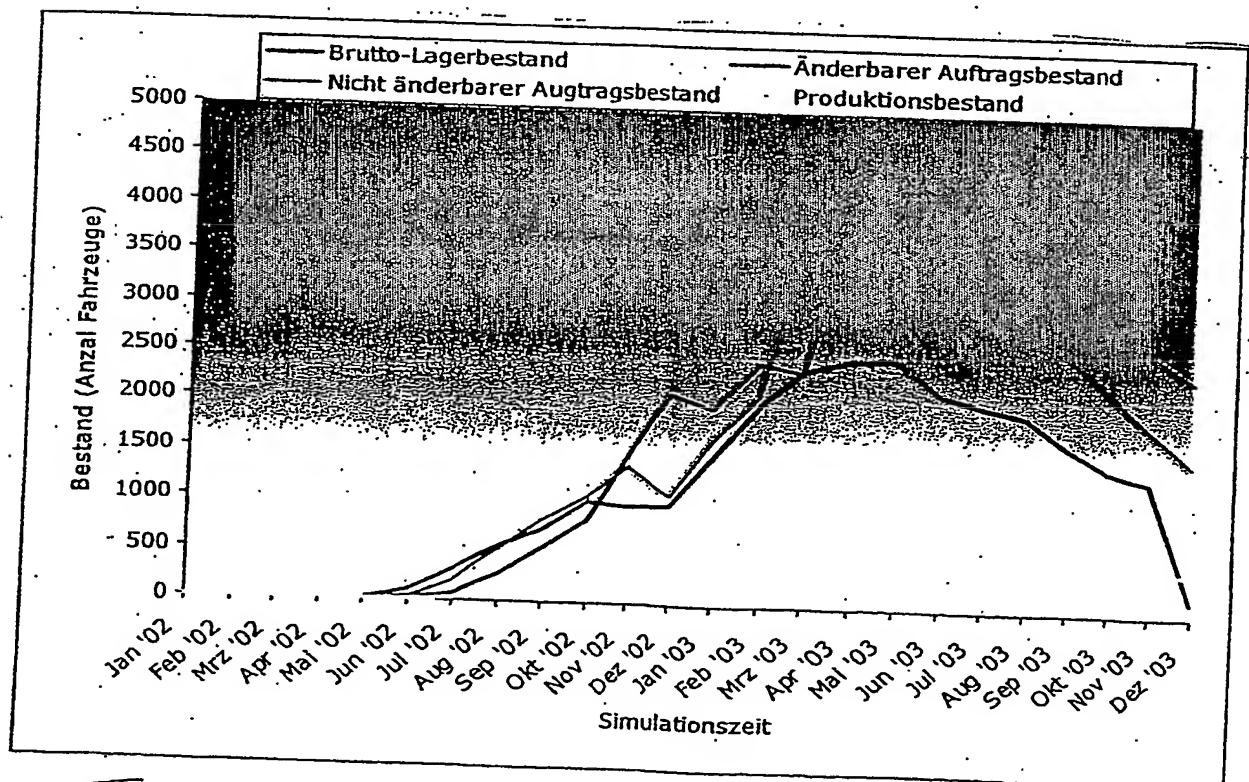


Fig. 49

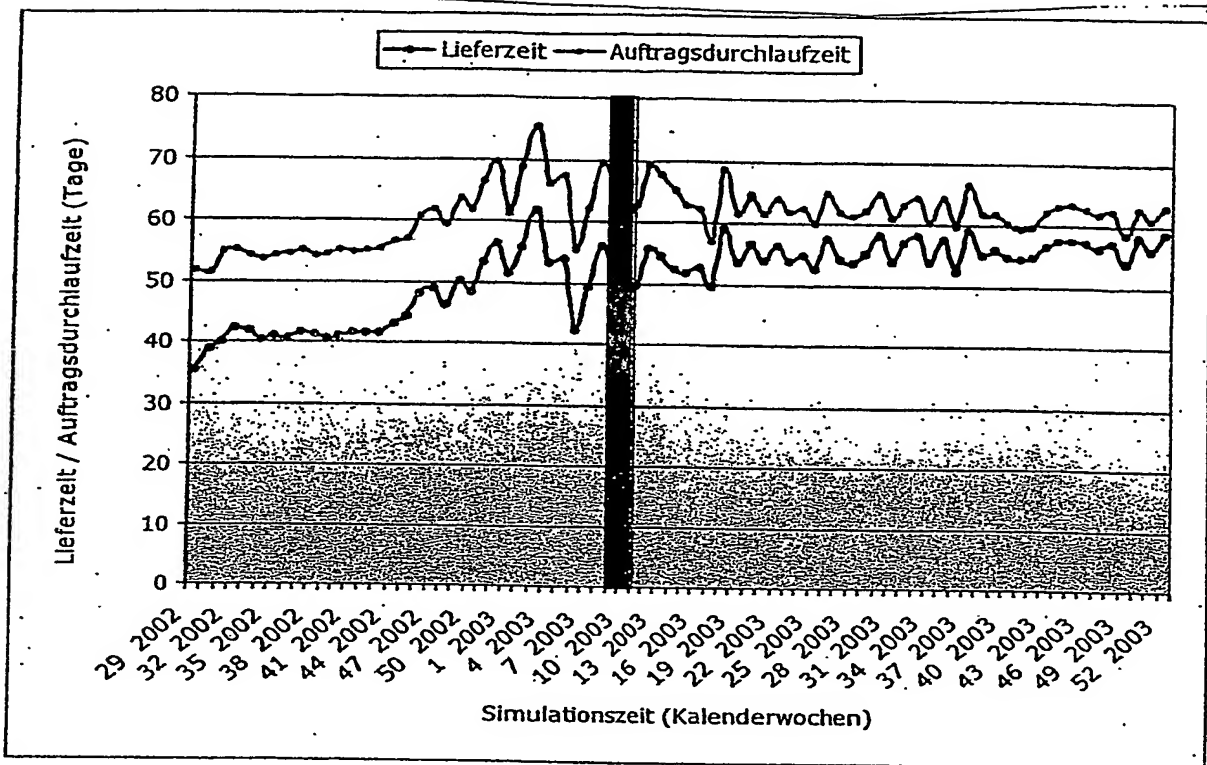


Fig. 50

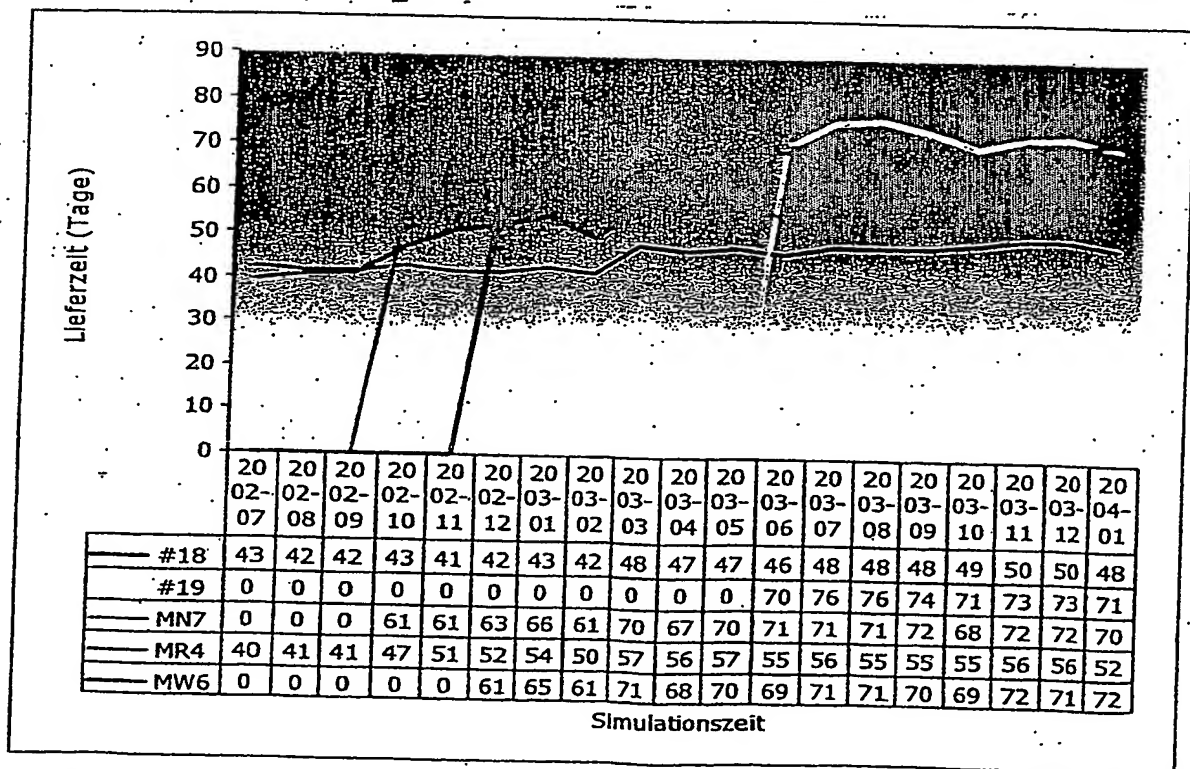


Fig. 51

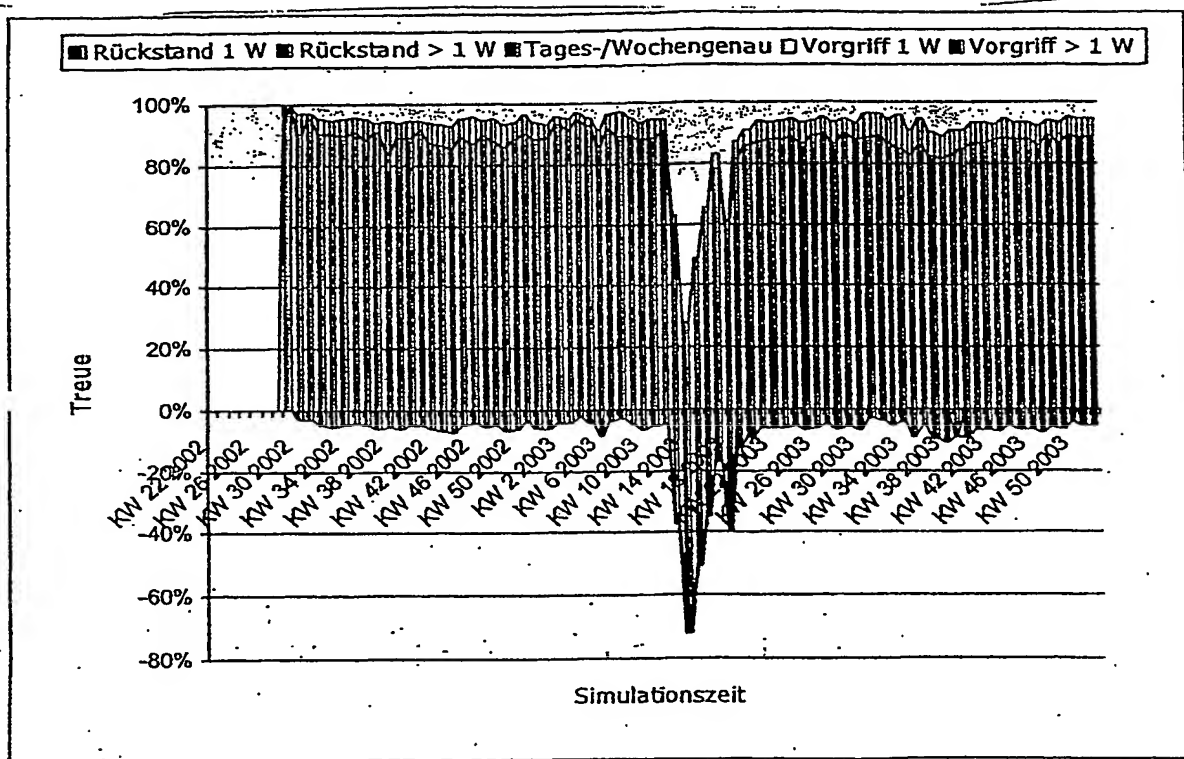


Fig. 52

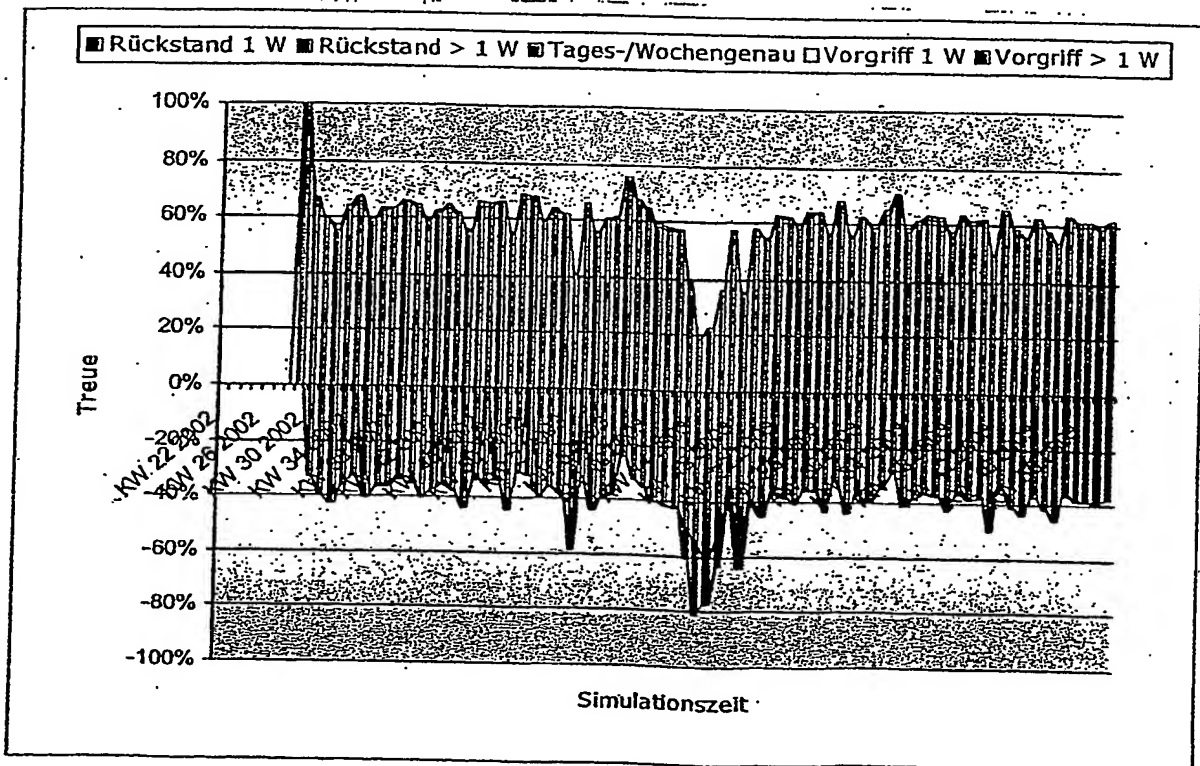


Fig. 53



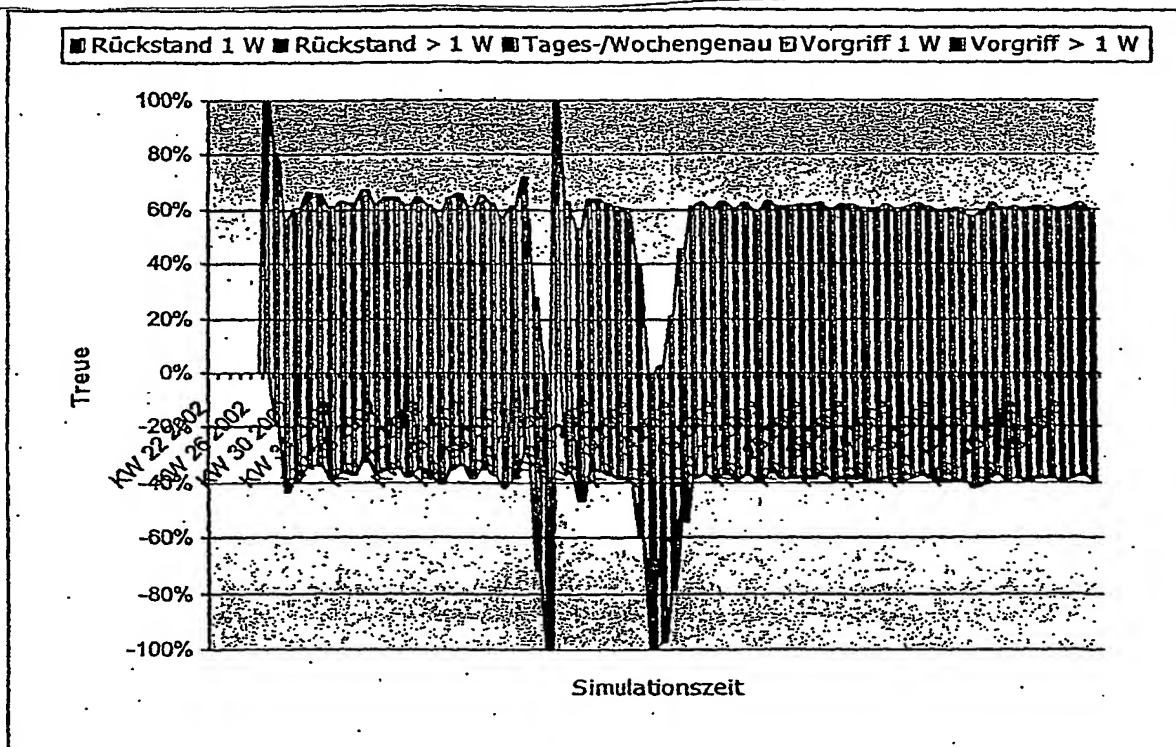
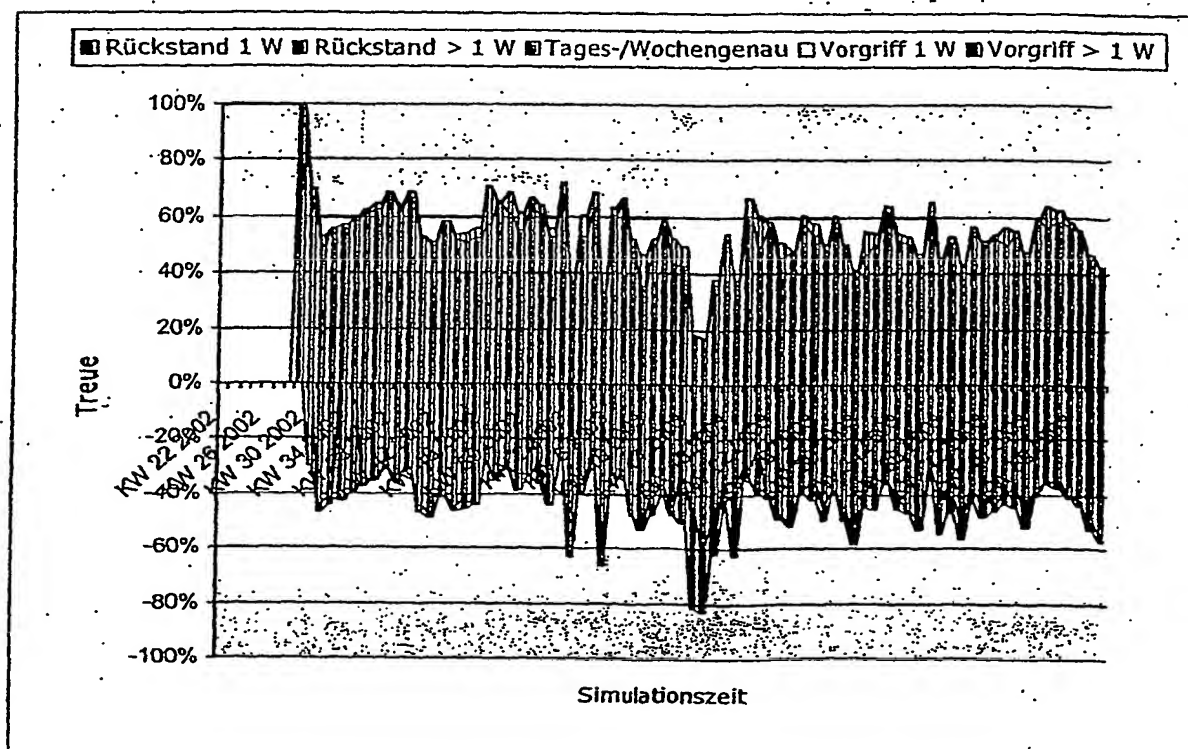


Fig. 54



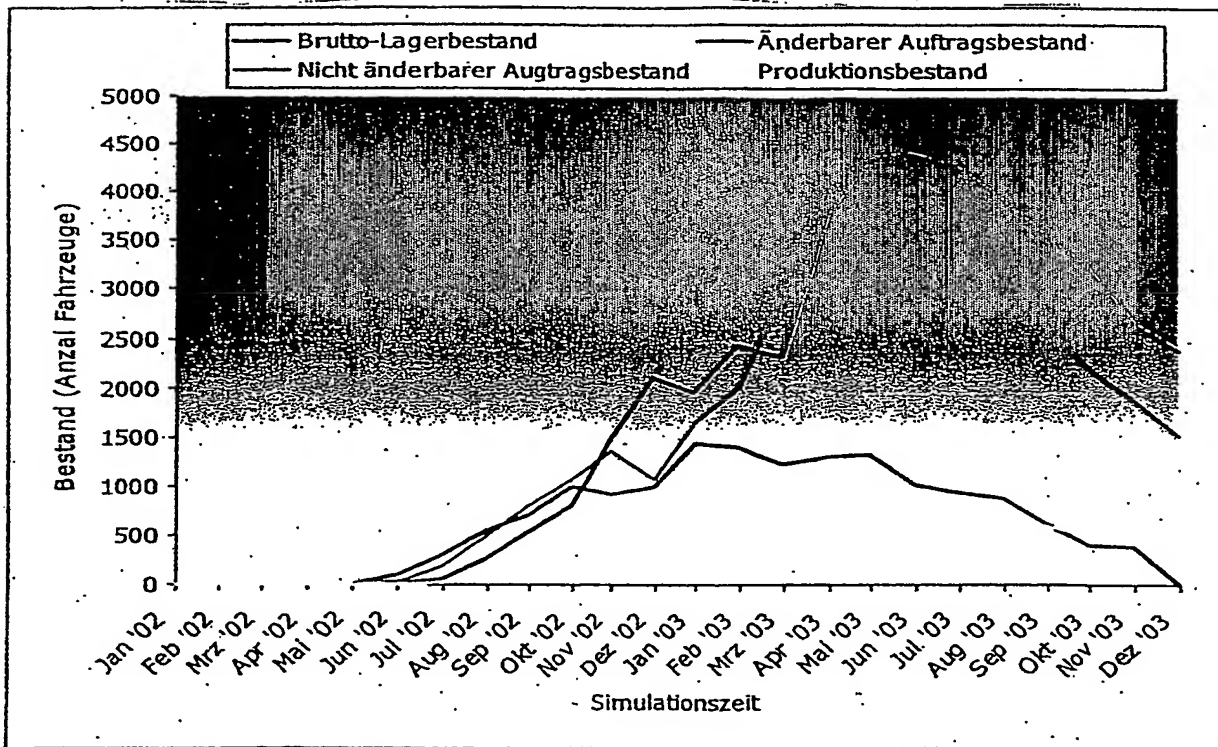


Fig. 56



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**